

<p>(51) 国際特許分類6 G02B 26/08, G09F 9/30</p>	<p>A1</p>	<p>(11) 国際公開番号 WO99/24859</p> <p>(43) 国際公開日 1999年5月20日(20.05.99)</p>
<p>(21) 国際出願番号 PCT/JP98/05009</p> <p>(22) 国際出願日 1998年11月6日(06.11.98)</p> <p>(30) 優先権データ 特願平9/304625 1997年11月6日(06.11.97) JP 特願平10/232123 1998年8月18日(18.08.98) JP</p> <p>(71) 出願人 (米国を除くすべての指定国について) 日本碍子株式会社(NGK INSULATORS, LTD.)(JP/JP) 〒467-8530 愛知県名古屋瑞穂区須田町2番56号 Aichi, (JP)</p> <p>(72) 発明者 ; および (75) 発明者 / 出願人 (米国についてのみ) 武内幸久(TAKEUCHI, Yukihiisa)(JP/JP) 〒470-0204 愛知県西加茂郡三好町三好丘桜一丁目5番地の4 Aichi, (JP) 七瀬 努(NANATAKI, Tsutomu)(JP/JP) 〒470-1112 愛知県豊明市新田町中ノ割80-27 エスポア豊明VI式番館1403号 Aichi, (JP) 下河夏己(SHIMOGAWA, Natsumi)(JP/JP) 〒462-0852 愛知県名古屋北区猿投町40 Aichi, (JP)</p>	<p>赤尾隆嘉(AKAO, Takayoshi)(JP/JP) 〒487-0025 愛知県春日井市出川町1849-57 Aichi, (JP)</p> <p>(74) 代理人 弁理士 千葉剛宏, 外(CHIBA, Yoshihiro et al.) 〒151-0053 東京都渋谷区代々木2丁目1番1号 新宿マインズタワー16階 Tokyo, (JP)</p> <p>(81) 指定国 CN, JP, US, 欧州特許 (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).</p> <p>添付公開書類 国際調査報告書</p>	
<p>(54)Title: DISPLAY AND ITS MANUFACTURING METHOD</p> <p>(54)発明の名称 表示装置及びその製造方法</p> <div data-bbox="315 1232 1268 1717"> </div> <p>(57) Abstract</p> <p>A display has an optical waveguide plate (12) which light enters, an actuator substrate (18) which is opposed to one of the plate surfaces of the optical waveguide plate (12) and on which actuators (14) the number of which corresponds to the number of pixels, pixel structures (102) formed on the actuators (14), and crosspieces (70) provided between the optical waveguide plate (12) and the actuator substrate (18) in the areas other than the pixel structures (102). The gaps between the optical waveguide plate and the pixel structures can be defined easily and uniformly over all the pixels.</p>		

(57)要約

光10が導入される光導波板12と、該光導波板12の一方の板面に対向して設けられ、かつ多数の画素に対応した数のアクチュエータ部14が配列されたアクチュエータ基板18と、該アクチュエータ基板18の各アクチュエータ部14上に形成された画素構成体102と、光導波板12とアクチュエータ基板18との間において、画素構成体102以外の部分に形成された栈70とを有して構成する。

これにより、光導波板と画素構成体とのギャップを容易に形成でき、かつ、全画素にわたって均一に形成することができる。

PCTに基づいて公開される国際出願のパンフレット第一頁に掲載されたPCT加盟国を同定するために使用されるコード(参考情報)

AE	アラブ首長国連邦	ES	スペイン	LI	リヒテンシュタイン	SG	シンガポール
AL	アルバニア	FI	フィンランド	LK	スリ・ランカ	SI	スロヴェニア
AM	アルメニア	FR	フランス	LR	リベリア	SK	スロヴァキア
AT	オーストリア	GA	ガボン	LS	レソト	SL	シエラ・レオネ
AU	オーストラリア	GB	英国	LT	リトアニア	SN	セネガル
AZ	アゼルバイジャン	GD	グレナダ	LU	ルクセンブルグ	SZ	スワジランド
BA	ボスニア・ヘルツェゴビナ	GE	グルジア	LV	ラトヴィア	TD	チャード
BB	バルバドス	GH	ガーナ	MC	モナコ	TG	トーゴ
BE	ベルギー	GM	ガンビア	MD	モルドヴァ	TJ	タジキスタン
BF	ブルキナ・ファソ	GN	ギニア	MG	マダガスカル	TM	トルクメニスタン
BG	ブルガリア	GW	ギニア・ビサウ	MK	マケドニア旧ユーゴスラヴィア	TR	トルコ
BJ	ベナン	GR	ギリシャ		共和国	TT	トリニダード・トバゴ
BR	ブラジル	HR	クロアチア	ML	マリ	UA	ウクライナ
BY	ベラルーシ	HU	ハンガリー	MN	モンゴル	UG	ウガンダ
CA	カナダ	ID	インドネシア	MR	モーリタニア	US	米国
CF	中央アフリカ	IE	アイルランド	MW	マラウイ	UZ	ウズベキスタン
CG	コンゴ	IL	イスラエル	MX	メキシコ	VN	ヴェトナム
CH	スイス	IN	インド	NE	ニジェール	YU	ユーゴスラビア
CI	コートジボアール	IS	アイスランド	NL	オランダ	ZA	南アフリカ共和国
CM	カメルーン	IT	イタリア	NO	ノルウェー	ZW	ジンバブエ
CN	中国	JP	日本	NZ	ニュージーランド		
CU	キューバ	KE	ケニア	PL	ポーランド		
CY	キプロス	KG	キルギスタン	PT	ポルトガル		
CZ	チェッコ	KP	北朝鮮	RO	ルーマニア		
DE	ドイツ	KR	韓国	RU	ロシア		
DK	デンマーク	KZ	カザフスタン	SD	スーダン		
EE	エストニア	LC	セントルシア	SE	スウェーデン		

明 細 書

表示装置及びその製造方法

技術分野

本発明は、消費電力が小さく、画面輝度の大きな表示装置に関し、特に、入力される画像信号の属性に応じて光導波板に対するアクチュエータ部の接触・離隔方向の変位動作を制御して、光導波板の所定部位の漏れ光を制御することにより、光導波板に画像信号に応じた映像を表示させる表示装置の改良及びその製造方法に関するものである。

背景技術

従来から、表示装置として、陰極線管（C R T）や液晶表示装置等の表示装置が知られている。

陰極線管としては、通常のテレビジョン受像機やコンピュータ用のモニタ装置等が知られているが、画面は明るいものの、消費電力が大きく、また、画面の大きさに比較して表示装置全体の奥行きが大きくなるという問題がある。

一方、液晶表示装置は、装置全体を小型化でき、消費電力が少ないという利点があるものの、画面の輝度が劣り、画面視野角度が狭いという問題がある。

更にこれら陰極線管や液晶表示装置においては、カラー画面にする場合、画素数を白黒画面の3倍にしなければならず、このため、装置自体が複雑になり、消費電力がかさみ、コストアップが避けられないという問題もあった。

そこで、本出願人は、前記問題を解決するべく、新規な表示装置を提案した（例えば、特開平7-287176号公報参照）。この表示装置は、図63に示すように、画素毎に配列されたアクチュエータ部400を有し、各アクチュエータ部400は、圧電／電歪層402と該圧電／電歪層402の上面及び下面にそれぞれ形成された上部電極404と下部電極406とを具備したアクチュエータ部本体408と、該アクチュエータ部本体408の下部に配設された振動部410と固定部412からなるアクチュエータ基板414とを有して構成されている。アクチュエータ部本体408の

下部電極４０６は振動部４１０と接触しており、該振動部４１０により前記アクチュエータ部本体４０８が支持されている。

前記アクチュエータ基板４１４は、振動部４１０及び固定部４１２が一体となってセラミックスから構成され、更に、アクチュエータ基板４１４には、前記振動部４１０が薄肉になるように凹部４１６が形成されている。

また、アクチュエータ部本体４０８の上部電極４０４には、光導波板４１８との接触面積を所定の大きさにするための変位伝達部４２０が接続されている。図６３の例では、前記変位伝達部４２０は、アクチュエータ部４００が静止しているオフ選択状態あるいは非選択状態において、光導波板４１８に近接して配置され、オン選択状態において前記光導波板４１８に光の波長以下の距離で接触するように配置されている。

そして、前記光導波板４１８の例えば端部から光４２２を導入する。この場合、光導波板４１８の屈折率の大きさを調節することにより、全ての光４２２が光導波板４１８の前面及び背面において透過することなく内部で全反射する。この状態で、前記上部電極４０４及び下部電極４０６を通してアクチュエータ部４００に画像信号の属性に応じた電圧信号を選択的に印加して、該アクチュエータ部４００にオン選択、オフ選択及び非選択の各種変位動作を行わせることにより、前記変位伝達部４２０の光導波板４１８への接触・離隔が制御され、これにより、前記光導波板４１８の所定部位の散乱光（漏れ光）４２４が制御されて、光導波板４１８に画像信号に応じた映像の表示がなされる。

そして、この表示装置でカラー表示を行う場合は、例えば三原色の光源を切り替えて、光導波板と変位伝達板との接触時間を発色させる周期に同期させて、三原色の発光時間を制御する、あるいは、三原色の発光時間を発色させる周期に同期させて、光導波板と変位伝達板との接触時間を制御するようにしている。

そのため、この提案例に係る表示装置においては、カラー表示方式に適用させる場合であっても、画素数を白黒画面の場合に比して増加させる必要がないという利点がある。

本発明は、前記提案例に係る表示装置の構成を改良して以下に示す効果を奏する表示装置及びその製造方法を提供することを目的とする。

- (1) 光導波板と画素構成体とのクリアランス（ギャップ）を容易に形成でき、かつ、全画素にわたって均一に形成することができる。
- (2) 前記ギャップの大きさを容易に制御することができる。
- (3) 光導波板への画素構成体の貼り付きを防止することができ、応答速度の高速化を有効に図ることができる。
- (4) 所定の画素構成体が光導波板に接触した際に、当該画素構成体に光が効率よく導入されるように、画素構成体の接触面（光導波板との接触面）を平滑に形成することができる。
- (5) 画素の応答速度を確保することができる。
- (6) 全画素にわたって均一な輝度を得ることができる。
- (7) 画素の輝度を向上させることができる。

発明の開示

本発明に係る表示装置は、光が導入される光導波板と、該光導波板の一方の板面に対向して設けられ、かつ多数の画素に対応した数のアクチュエータ部が配列されたアクチュエータ基板と、前記アクチュエータ基板の各アクチュエータ部上に形成された画素構成体と、前記光導波板と前記アクチュエータ基板との間において、前記画素構成体以外の部分に形成された栈とを設けて構成する（請求項1記載の発明）。

これにより、光導波板の例えば端部から導入される光は、光導波板の屈折率の大きさを調節することにより、全ての光が光導波板の前面及び背面において透過することなく内部で全反射する。この状態において、アクチュエータ部の変位動作によって、画素構成体が光導波板側に接近すると、それまで全反射していた光は、画素構成体で反射し、散乱光となる。この散乱光は、その一部は再度光導波板の中で反射するが、散乱光の大部分は光導波板で反射されることなく、光導波板の前面を透過することになる。

前記の例ではアクチュエータ部の変位動作によって、画素構成体が光導波板に接近する方向に変位する場合を示したが、その他、アクチュエータ部の変位動作によって、画素構成体が光導波板から離反する方向に変位する場合でも同様に適用させることができる。

このように、光導波板の背面にある画素構成体の光導波板への接近、離反により、光導波板の前面における光の発光（漏れ光）の有無を制御することができる。この場合、光導波板に対して画素構成体を接近、離隔方向に変位動作させる1つの単位を例えば1画素として考えれば、この画素を多数マトリクス状に配列し、入力される画像信号の属性に応じて各画素での変位動作を制御することにより、陰極線管や液晶表示装置と同様に、光導波板の前面に画像信号に応じた映像（文字や図形等）を表示させることができる。

カラー表示方式に適用させる場合は、画素構成体に配される着色層（例えば三原色フィルタや補色フィルタ、あるいは有色散乱体等）の配色などの関係によって、例えば互いに隣接する3つの画素構成体（RGB配列）や互いに隣接する4つの画素構成体（市松配列等）にて1つの画素を構成させるようにすればよい。

そして、この発明に係る表示装置は、前記光導波板と前記アクチュエータ基板との間において、前記画素構成体以外の部分に栈を形成するようにしている。

栈を設けずに、光導波板とアクチュエータ基板とを画面の周縁だけで固定した場合においては、アクチュエータ部の動きでアクチュエータ基板に振動が生じ、そのたびに変位の基準が変化し、画素のオン／オフ動作とアクチュエータ部の変位とが対応しなくなる場合が生じる。

しかし、本発明においては、上述のように栈を設けるようにしているため、あるアクチュエータ部が変位動作したとしても、その振動は、栈によって吸収され、変位の基準が変化するなどの不都合は生じなくなる。

また、画素構成体の周りに形成された複数の栈の光導波板に対する支持によって、画素構成体と光導波板との間のギャップを全画素にわたって均一にすることが容易になる。しかも、栈の高さを任意に変更することによって、前記ギャップの大きさを容易に制御することができる。その結果、全画素にわたって均一な輝度を得ることができる。

そして、前記構成において、前記アクチュエータ部を、形状保持層と、該形状保持層に形成された少なくとも一对の電極とを有する作動部と、該作動部を支持する振動部と、該振動部を振動可能に支持する固定部とを有して構成するようにしてもよい（請求項2記載の発明）。

ここで、形状保持層を有するアクチュエータ部とは、同じ電圧レベルにおいて、2つ乃至それ以上の変位状態を少なくとも有するアクチュエータ部を指す。また、形状保持層を有するアクチュエータ部の特徴は以下の通りである。

(1) オフ状態からオン状態へのしきい値特性が形状保持層が存在しない場合と比して急峻になるため、電圧の振れ幅を狭くでき、回路側の負担を軽減することができる。

(2) オン状態及びオフ状態の差が明確になり、コントラストの向上につながる。

(3) しきい値のばらつきが小さくなり、電圧の設定範囲に余裕が生まれる。なお、アクチュエータ部としては、制御の容易性から、例えば上向きに変位するアクチュエータ部（電圧無負荷で離隔状態、電圧印加時に接触するもの）であることが望ましい。特に、表面に一对の電極をもつ構造であることが望ましい。

(4) 前記形状保持層としては、例えば圧電／電歪層や反強誘電体層が好ましく用いられる。

また、前記構成において、前記棧を前記光導波板に固着させるようにしてもよい（請求項3記載の発明）、前記光導波板と棧との間にギャップ形成層を設けるようにしてもよい（請求項4記載の発明）。このギャップ形成層を設けた場合においては、画素構成体と光導波板との間のギャップを全画素にわたって均一にすることが更に容易になり、前記ギャップの大きさも容易に制御することが可能となる。

ギャップ形成層の構成材料としては、例えば金属膜や、カーボンブラック、黒顔料、黒染料を含んだ膜、光散乱性の低い透明な膜等が挙げられる。これにより、ギャップ形成層がブラックマトリクスとしての機能を併せ持つことができる。中でも、Cr、Al、Ni、Ag等の金属膜をギャップ形成層として使うと、光の吸収が小さいため、光導波板を伝搬する光の減衰、散乱を抑制することができ、特に好ましく用いられる。

また、カーボンブラック、黒顔料、黒染料を含んだ膜をギャップ形成層として使うと、光の吸収性がよく、コントラストを向上させることができる。また、光散乱性の低い透明な膜をギャップ形成層として使うと、光吸収性の良好な接着剤（あるいは黒染料や黒顔料を添加して光吸収性を高めた接着剤）と組み合わせることで、光散乱を抑え、コントラストを高めることができる。

また、ギャップ形成層の寸法としては、例えば、アクチュエータ部が光導波板側に凸に変位する場合を例にとると、ギャップ量の小さい限界（最小値）は、画素のオフ時にエバネッセント効果による光の漏れが無視できる程度に設定され、ギャップ量の大きな限界（最大値）は、アクチュエータ部の変位によって、画素構成体が光導波板に接触できる範囲で設定される。従って、ギャップ形成層の厚みは、前記ギャップ量が前記範囲に形成されるように調整されることとなる。但し、画素構成体と栈との高さの差は、表示装置の各種実施例に応じて制御可能であり、それに応じてギャップ形成層の厚みを最適化させるとよい。

そして、前記構成において、前記栈を各画素構成体の四方に形成するようにしてもよい（請求項5記載の発明）。ここで、画素構成体の四方とは、例えば画素構成体が平面ほぼ矩形あるいは楕円であれば、各コーナ一部に対応した位置などが挙げられ、1つの栈が隣接する画素構成体と共有される形態を指す。この場合、画素構成体単位に4つの栈が形成されたかたちとなるため、あるアクチュエータ部の変位動作による振動が有効に吸収され、他のアクチュエータ部の変位動作に影響を与えることがほとんど皆無となる。その結果、すべての画素におけるオン動作／オフ動作と変位との対応関係が良好となり、入力される画像信号に応じた映像を忠実に表示させることが可能となる。また、アクチュエータ基板と光導波板との固着も強固なものとなる。

前記栈を少なくとも1つの画素構成体を囲む窓部を有するように構成してもよい（請求項6記載の発明）。代表的な構成例としては、例えば、栈自体を板状に形成し、更に画素構成体に対応した位置に窓部（開口）を形成する。これによって、画素構成体の側面全部が栈によって囲まれたかたちになり、アクチュエータ基板と光導波板との固着が更に強固なものとなる。しかも、あるアクチュエータ部の変位動作による振動が他のアクチュエータ部の変位動作に影響を与えることが皆無となる。

また、前記栈の構成として、前記画素構成体の配列方向に沿って延び、前記画素構成体の配列を囲むストライプ状の開口を有するようにしてもよい（請求項7記載の発明）。また、前記画素構成体の配列方向に沿って延びるライン状に形成するようにしてもよい（請求項8記載の発明）。

また、前記栈を前記アクチュエータ基板と一体に形成するようにしてもよい（請求項9記載の発明）。この場合、栈が形成された部分の機械的強度を向上させることが

可能となり、アクチュエータ基板の剛性が高くなる。その結果、例えばアクチュエータ基板を持ち運ぶ際や保管時において、該アクチュエータ基板に形成されたアクチュエータ部を前記棧で保護することができる。また、棧を別体で形成する場合と比して、棧を硬化させる工程を省くことができ、工数の削減を図ることができる。

また、前記棧としては、前記画素構成体の配列方向に沿って延びるワイヤ部材で構成するようにしてもよい（請求項10記載の発明）。

また、前記構成において、前記画素構成体の表面に凹部を形成するようにしてもよい（請求項11記載の発明）。この場合、画素構成体の光導波板に対向する面積に応じて凹部の形成個数あるいは大きさを規定することによって、各画素構成体における光導波板に対する接触面積をほとんど同じにすることが可能となり、全画素にわたって均一な輝度を得ることができる。また、凹部の存在によって、画素構成体と光導波板との密着性が緩和され、画素構成体の光導波板からの離反がスムーズに行われることになる。その結果、光導波板への画素構成体の貼り付きを防止することができ、応答速度の高速化を有効に図ることができる。

また、前記構成において、前記画素構成体の表面に段差を形成するようにしてもよい（請求項12記載の発明）。この場合、画素構成体に段差を設けることで、画素構成体が光導波板に接触する部分の面積を全画素において一定にすることができ、全画素にわたって均一な輝度を得ることができる。また、段差の存在によって、画素構成体と光導波板との密着性が緩和されるため、光導波板への画素構成体の貼り付きを防止することができ、応答速度の高速化を有効に図ることができる。

また、前記構成において、前記画素構成体の表面を凹形状にしてもよい（請求項13記載の発明）。アクチュエータ部が変位する際、画素構成体の中央部分が最も変位量が多い傾向をもつ。そのため、画素構成体の表面を凹形状にして該画素構成体の中央部分を凹ませることで、アクチュエータ部が変位して画素構成体が光導波板に接触する際に、画素構成体の表面が平坦に近くなり、画素構成体の光導波板に対する接触面積を大きくすることができる。

凹形状の湾曲の深さを大きくすると、画素構成体が光導波板に接触した際に、画素構成体の中央部分が光導波板に着かない状態となり、擬似的に画素構成体の表面に凹部が形成された状態となる。そのため、画素構成体と光導波板との密着性が緩和され

、画素構成体の光導波板からの離反がスムーズに行われることになる。その結果、光導波板への画素構成体の貼り付きを防止することができ、応答速度の高速化を有効に図ることができる。

なお、前記画素構成体の表面に凹部を形成する構成、前記画素構成体の表面に段差を形成する構成並びに前記画素構成体の表面を凹形状にする構成をそれぞれ単独で実現させるようにしてもよいし、任意に組み合わせるようにしてもよい。組み合わせることで、それぞれの構成による相乗効果を得ることができる。

次に、本発明に係る表示装置の製造方法は、多数の画素に対応した数のアクチュエータ部が配列されたアクチュエータ基板のうち、前記アクチュエータ部以外の箇所に複数の栈を形成する栈形成工程と、前記アクチュエータ基板の各アクチュエータ部上に画素構成体を形成する画素形成工程と、少なくとも前記画素構成体が硬化していない状態で光導波板を貼り付け加圧した後、少なくとも前記画素構成体を硬化させる加圧工程とを有することを特徴とする（請求項１４記載の発明）。

ここで、画素構成体が硬化していない状態とは、画素構成体が複数の積層膜で構成（多層構造）されている場合においては、全部の積層膜が硬化していない状態や一部の膜が硬化していない状態を含む。

この場合、アクチュエータ基板に対する画素構成体や栈の精密な位置合わせと強力な接着力を得ることができる。しかも、光導波板を最後に貼り付けるため、光導波板の清浄度を高く保つことができる。

また、本発明に係る表示装置の製造方法は、光導波板のうち、多数の画素に対応した箇所以外の箇所に複数の栈を形成する栈形成工程と、光導波板のうち、多数の画素に対応した箇所に画素構成体を形成する画素形成工程と、多数の画素に対応した数のアクチュエータ部が配列されたアクチュエータ基板を前記栈及び画素構成体上に貼り付け、前記光導波板とアクチュエータ基板とを互いに接近する方向に加圧させる加圧工程とを有することを特徴とする（請求項１５記載の発明）。

この方法は、光導波板に画素構成体と栈を形成して、アクチュエータ基板を貼り付ける方法である。直接光導波板に画素構成体を形成するため、画素の面積（光導波板への接触面積）を規定しやすいという利点があり、全画素にわたって均一な輝度を得ることが容易になる。

また、本発明に係る表示装置の製造方法は、多数の画素に対応した数のアクチュエータ部が配列されたアクチュエータ基板のうち、前記アクチュエータ部以外の箇所に複数の栈を形成する栈形成工程と、光導波板のうち、多数の画素に対応した箇所に画素構成体を形成する画素形成工程と、前記アクチュエータ基板の前記栈が形成された面と前記光導波板の前記画素構成体が形成された面とを貼り合わせ、前記光導波板とアクチュエータ基板とを互いに接近する方向に加圧させる加圧工程とを有することを特徴とする（請求項16記載の発明）。

この方法は、光導波板に画素構成体を形成し、アクチュエータ基板に栈を形成し、その後、これら光導波板とアクチュエータ基板を貼り合わせるといものである。

この場合、画素構成体の形成と栈の形成とをそれぞれ独立した工程で行うことができるため、画素構成体と栈に関し、これらの材料選定の幅が広がり、製造コストや工数を低減させることができる。また、平坦度の高い光導波板上に画素構成体を形成するようにしているため、画素構成体の大きさを揃えることが可能となる。

また、本発明に係る表示装置の製造方法は、光導波板のうち、多数の画素に対応した箇所以外の箇所に複数の栈を形成する栈形成工程と、多数の画素に対応した数のアクチュエータ部が配列されたアクチュエータ基板のうち、各アクチュエータ部上に画素構成体を形成する画素形成工程と、前記アクチュエータ基板の前記画素構成体が形成された面と前記光導波板の前記栈が形成された面とを貼り合わせ、前記光導波板とアクチュエータ基板とを互いに接近する方向に加圧させる加圧工程とを有することを特徴とする（請求項17記載の発明）。

この方法は、光導波板に栈を形成し、アクチュエータ基板に画素構成体を形成し、その後、これら光導波板とアクチュエータ基板を貼り合わせるといものである。

この場合も、画素構成体の形成と栈の形成とをそれぞれ独立した工程で行うことができるため、画素構成体と栈に関し、これらの材料選定の幅が広がり、製造コストや工数を低減させることができる。また、平坦度の高い光導波板上に栈を形成するようにしているため、栈の高さを厳密に揃えることが可能となる。しかも、画素構成体の形成において、障害物（栈など）が存在しないため、画素構成体を精度よく形成することができる。

また、本発明に係る表示装置の製造方法は、多数の画素に対応した数のアクチュエ

一タ部が配列され、かつ、前記アクチュエータ部以外の箇所に複数の栈を一体に有するアクチュエータ基板の各アクチュエータ部上に画素構成体を形成する画素形成工程と、少なくとも前記画素構成体が硬化していない状態で光導波板を貼り付け加圧した後、少なくとも前記画素構成体を硬化させる加圧工程とを有することを特徴とする（請求項18記載の発明）。

この方法は、予め栈が一体に設けられたアクチュエータ基板に画素構成体を形成し、その後、光導波板を貼り付け加圧するというものである。

この場合、アクチュエータ基板として、予め栈を一体に有するアクチュエータ基板を用いるようにしているため、栈の部分の機械的強度が高く、これに伴って、アクチュエータ基板の剛性が高くなる。その結果、例えばアクチュエータ基板を持ち運ぶ際や保管時において、該アクチュエータ基板に形成されたアクチュエータ部を前記栈で保護することができる。また、栈を別体で形成する場合と比して、栈を硬化させる工程を省くことができ、工数の削減を図ることができる。

これらの製造方法においては、少なくとも画素構成体が硬化していない状態で光導波板を貼り付け加圧するようにしているため、加圧の際に、光導波板が栈と画素構成体とをアクチュエータ基板側に押し付けるかたちになり、少なくとも前記画素構成体を硬化させた際に栈の上面と画素構成体の上面とがほぼ同一面となる。

この場合、画素構成体の構成材料として、画素構成体の硬化時に該画素構成体が収縮する材料を用いることで、栈と画素構成体との硬化時に画素構成体と光導波板との間にギャップを形成させることができる。

また、ギャップを形成するための別の方法としては、例えば、光導波板を貼り付け加圧する際に、画素構成体を加熱して膨張させたり、アクチュエータ部を変位させて画素構成体を光導波板に接触させておくなどの方法や、これらの組み合わせを採用することができる。その後の栈と画素構成体の硬化時に、画素構成体が収縮してあるいはアクチュエータ部の変位リセット（復元）によって画素構成体と光導波板との間に一定のギャップが形成されることになる。

その他、自然状態で画素構成体が光導波板に接触する形態とした場合は、アクチュエータ部の変位動作として、画素構成体が光導波板から離反する方向に変位する場合に適用させることができる。

これらの製造方法において、前記光導波板を貼り付ける際に、栈は硬化しているか、あるいは一部硬化していることが好ましい。この場合、栈がスペーサとして作用し、アクチュエータ基板と光導波板との間の距離が規定されることになる。

また、本発明に係る表示装置の製造方法は、多数の画素に対応した数のアクチュエータ部が配列されたアクチュエータ基板のうち、前記アクチュエータ部以外の箇所に複数の栈を形成する栈形成工程と、前記アクチュエータ基板の各アクチュエータ部上に画素構成体を形成する画素形成工程と、少なくとも前記画素構成体が硬化していない状態で板材を貼り付ける第1の貼付け工程と、前記アクチュエータ基板と板材とを互いに接近する方向に加圧した後、少なくとも前記画素構成体を硬化させる加圧工程と、前記板材を除去した後、少なくとも前記栈上に光導波板を貼り付ける第2の貼付け工程とを有することを特徴とする（請求項19記載の発明）。

この方法は、画素構成体と栈が形成されたアクチュエータ基板に一旦板材を貼り付けて、画素構成体と栈の各上面をほぼ同一面にした後に、板材を除去して、光導波板を貼り付けるというものである。

この場合、アクチュエータ基板に対する画素構成体や栈の精密な位置合わせと強力な接着力を得ることができる。

アクチュエータ基板に板材を貼り付け加圧した際に、アクチュエータ基板に形成しておいた栈がスペーサとなってアクチュエータ基板と板材との間の距離が規定される。光導波板を貼り付ける際に、栈が硬化している、あるいは一部硬化している場合は、前記規定された距離は、アクチュエータ基板と光導波板との間の距離に相当することになる。

また、板材として平滑なものを用いた場合は、画素構成体の表面に板材と同等の平滑な面が形成される。この優れた平滑性は画素発光時の輝度向上に役立つ。板材には、離型剤を塗布しておくことが好ましい。

前記方法において、アクチュエータ基板への栈の形成後に、栈のみの面出し（栈形成→面出し硬化）をしてもよい。板材を貼り付けた際に、栈が板材に当たらない部分を補償し、アクチュエータ基板のうねりを吸収したかたちで栈の高さを規定することができる。更に、画素構成体の形成の際に、栈の上にも同時に画素構成体を形成して面出しを行うようにしてもよい。この場合も、アクチュエータ基板のうねりを吸収し

たかたちで栈の高さを規定することができる。

また、本発明に係る表示装置の製造方法は、板材のうち、多数の画素に対応した箇所以外の箇所に複数の栈を形成する栈形成工程と、板材のうち、多数の画素に対応した箇所に画素構成体を形成する画素形成工程と、多数の画素に対応した数のアクチュエータ部が配列されたアクチュエータ基板を前記栈及び画素構成体上に貼り付ける第1の貼付け工程と、前記板材とアクチュエータ基板とを互いに接近する方向に加圧する加圧工程と、前記板材を除去して前記栈及び前記画素構成体を前記アクチュエータ基板に転写した後、少なくとも前記栈上に光導波板を貼り付ける第2の貼付け工程とを有することを特徴とする（請求項20記載の発明）。

この方法は、板材に画素構成体と栈を形成し、それぞれ硬化させた後、あるいは硬化させないで、アクチュエータ基板を貼り付け、その後、板材を除去して、光導波板を貼り付けるというものである。

この場合、板材に栈及び画素構成体を形成する前に、板材に例えば離型剤を塗布しておくことが好ましい。画素構成体と栈をスムーズにアクチュエータ基板に転写させることができる。

そして、この発明では、栈及び画素構成体が形成された板材にアクチュエータ基板を貼り付け加圧した際に、板材に形成しておいた栈がスペーサとなってアクチュエータ基板と板材との間の距離が規定されることになる。板材に栈を形成した際に栈を硬化する、あるいは一部硬化するようにすれば、この規定された距離はアクチュエータ基板と光導波板との間の距離に相当することになる。

また、本発明に係る表示装置の製造方法は、多数の画素に対応した数のアクチュエータ部が配列されたアクチュエータ基板のうち、前記アクチュエータ部以外の箇所に複数の栈を形成する栈形成工程と、板材のうち、多数の画素に対応した箇所に画素構成体を形成する画素形成工程と、前記アクチュエータ基板の前記栈が形成された面と前記板材の前記画素構成体が形成された面とを貼り合わせる第1の貼付け工程と、前記板材とアクチュエータ基板とを互いに接近する方向に加圧する加圧工程と、前記板材を除去して前記画素構成体を前記アクチュエータ基板に転写した後、少なくとも前記栈上に光導波板を貼り付ける第2の貼付け工程とを有することを特徴とする（請求項21記載の発明）。

この方法は、アクチュエータ基板に栈を形成し、板材に画素構成体を形成し、これらアクチュエータ基板と板材を貼り合わせてた後、板材を除去して、光導波板を貼り付けるというものである。

この場合、画素構成体の形成と栈の形成とをそれぞれ独立した工程で行うことができるため、画素構成体と栈に関し、これらの材料選定の幅が広がり、製造コストや工数を低減させることができる。また、平坦度の高い板材上に画素構成体を形成するようにしているため、画素構成体の大きさを揃えることが可能となる。

また、本発明に係る表示装置の製造方法は、多数の画素に対応した数のアクチュエータ部が配列されたアクチュエータ基板のうち、各アクチュエータ部上に画素構成体を形成する画素形成工程と、板材のうち、多数の画素に対応した箇所以外の箇所に複数の栈を形成する栈形成工程と、前記アクチュエータ基板の前記画素構成体が形成された面と前記板材の前記栈が形成された面とを貼り合わせる第1の貼付け工程と、前記板材とアクチュエータ基板とを互いに接近する方向に加圧する加圧工程と、前記板材を除去して前記栈を前記アクチュエータ基板に転写した後、少なくとも前記栈上に光導波板を貼り付ける第2の貼付け工程とを有することを特徴とする（請求項22記載の発明）。

この方法は、アクチュエータ基板に画素構成体を形成し、板材に栈を形成し、これらアクチュエータ基板と板材を貼り合わせてた後、板材を除去して、光導波板を貼り付けるというものである。

この場合も、画素構成体の形成と栈の形成とをそれぞれ独立した工程で行うことができるため、画素構成体と栈に関し、これらの材料選定の幅が広がり、製造コストや工数を低減させることができる。また、平坦度の高い板材上に栈を形成するようにしているため、栈の高さを厳密に揃えることが可能となる。しかも、画素構成体の形成において、障害物（栈など）が存在しないため、画素構成体を精度よく形成することができる。

また、本発明に係る表示装置の製造方法は、多数の画素に対応した数のアクチュエータ部が配列され、かつ、前記アクチュエータ部以外の箇所に複数の栈を一体に有するアクチュエータ基板の各アクチュエータ部上に画素構成体を形成する画素形成工程と、少なくとも前記画素構成体が硬化していない状態で板材を貼り付ける第1の貼付

け工程と、前記アクチュエータ基板と板材とを互いに接近する方向に加圧した後、少なくとも前記画素構成体を硬化させる加圧工程と、前記板材を除去した後、少なくとも前記栈上に光導波板を貼り付ける第2の貼付け工程とを有することを特徴とする（請求項23記載の発明）。

この方法は、栈を一体に有するアクチュエータ基板に画素構成体を形成した後、アクチュエータ基板に板材を貼り合わせ、その後、板材を除去して、光導波板を貼り付けるというものである。

この場合、アクチュエータ基板として、予め栈を一体に有するアクチュエータ基板を用いるようにしているため、栈の部分の機械的強度が高く、これに伴って、アクチュエータ基板の剛性が高くなる。その結果、例えばアクチュエータ基板を持ち運ぶ際や保管時において、該アクチュエータ基板に形成されたアクチュエータ部を前記栈で保護することができる。また、栈を別体で形成する場合と比して、栈を硬化させる工程を省くことができ、工数の削減を図ることができる。

また、本発明に係る表示装置の製造方法は、多数の画素に対応した数のアクチュエータ部が配列されたアクチュエータ基板のうち、各アクチュエータ部上に画素構成体を形成する画素形成工程と、板部材の一方の面に、前記アクチュエータ基板に形成されるべき栈と高さがほぼ同じとされた寸法規定部材が多数形成された治具を用い、該治具の前記寸法規定部材が形成された面と前記アクチュエータ基板の前記画素構成体が形成された面とを貼り合わせる第1の貼付け工程と、前記治具とアクチュエータ基板とを互いに接近する方向に加圧する加圧工程と、前記治具を取り外した後、前記アクチュエータ基板のうち、前記アクチュエータ部以外の箇所に複数の栈を形成する栈形成工程と、前記アクチュエータ基板の少なくとも前記栈上に光導波板を貼り付ける第2の貼付け工程とを有することを特徴とする（請求項24記載の発明）。

この方法は、アクチュエータ基板に画素構成体を形成した後、板部材に多数の寸法規定部材が設けられた治具と前記アクチュエータ基板を貼り合わせ加圧することによって画素構成体の寸法を規定し、その後、治具を取り外して、アクチュエータ基板に栈を形成した後、光導波板を貼り付けるというものである。

この場合、前記治具を例えば金属などの剛性のある部材で構成すれば、画素構成体が形成されたアクチュエータ基板のうねりを当該治具とアクチュエータ基板との貼り

合わせ加圧によって低減させることができ、その後の栈の形成工程において、高精度に栈を形成することができる。

また、本発明に係る表示装置の製造方法は、多数の画素に対応した数のアクチュエータ部が配列されたアクチュエータ基板のうち、各アクチュエータ部上に画素構成体を形成する画素形成工程と、板部材の一方の面に、前記アクチュエータ基板に形成されるべき栈と高さがほぼ同じとされた寸法規定部材が多数形成された治具を用い、該治具の前記寸法規定部材が形成された面と前記アクチュエータ基板の前記画素構成体が形成された面とを貼り合わせる第1の貼付け工程と、前記治具とアクチュエータ基板とを互いに接近する方向に加圧する加圧工程と、前記治具を取り外した後、光導波板のうち、多数の画素に対応した箇所以外の箇所に複数の栈を形成する栈形成工程と、前記アクチュエータ基板の前記画素構成体が形成された面と前記光導波板の前記栈が形成された面とを貼り合わせる第2の貼付け工程とを有することを特徴とする（請求項25記載の発明）。

この方法は、アクチュエータ基板に画素構成体を形成した後、板部材に多数の寸法規定部材が設けられた治具と前記アクチュエータ基板を貼り合わせ加圧することによって画素構成体の寸法を規定し、治具を取り外した後、光導波板に栈を形成して、該光導波板とアクチュエータ基板とを貼り合わせるというものである。

この場合も、前記治具を例えば金属などの剛性のある部材で構成すれば、画素構成体が形成されたアクチュエータ基板のうねりを当該治具とアクチュエータ基板との貼り合わせ加圧によって低減させることができ、その後の光導波板との貼り合わせを高精度に行うことができる。また、平坦度の高い光導波板上に栈を形成するようにしているため、栈の高さを厳密に揃えることが可能となる。

また、本発明に係る表示装置の製造方法は、多数の画素に対応した数のアクチュエータ部が配列されたアクチュエータ基板のうち、各アクチュエータ部上に画素構成体を形成する画素形成工程と、板部材の一方の面に、前記アクチュエータ基板に形成されるべき栈と高さがほぼ同じとされた寸法規定部材が多数形成された治具を用い、該治具の前記寸法規定部材が形成された面のうち、前記寸法規定部材が形成されていない部分であって、かつ、多数の画素に対応した箇所以外の箇所に複数の栈を形成する栈形成工程と、前記治具の前記寸法規定部材と栈が形成された面と前記アクチュエー

タ基板の前記画素構成体が形成された面とを貼り合わせる第1の貼付け工程と、前記治具とアクチュエータ基板とを互いに接近する方向に加圧する加圧工程と、前記治具を取り外して前記栈を前記アクチュエータ基板に転写した後、前記アクチュエータ基板の少なくとも前記栈上に光導波板を貼り付ける第2の貼付け工程とを有することを特徴とする（請求項26記載の発明）。

この方法は、アクチュエータ基板に画素構成体を形成し、板部材に多数の寸法規定部材が設けられた治具に栈を形成し、これらアクチュエータ基板と治具とを貼り合わせ加圧することによって栈と画素構成体の寸法を規定し、その後、治具を取り外して、アクチュエータ基板に栈を転写させた後、光導波板を貼り付けるというものである。

この場合も、前記治具を例えば金属などの剛性のある部材で構成すれば、画素構成体が形成されたアクチュエータ基板のうねりを当該治具とアクチュエータ基板との貼り合わせ加圧によって低減させることができ、高精度に栈及び画素構成体を形成することができる。

また、本発明に係る表示装置の製造方法は、多数の画素に対応した数のアクチュエータ部が配列されたアクチュエータ基板のうち、前記アクチュエータ部以外の箇所に複数の栈を形成する栈形成工程と、前記アクチュエータ基板の各アクチュエータ部に画素構成体を形成する画素形成工程と、板部材の一方の面に、前記アクチュエータ基板に形成されるべき栈と高さがほぼ同じとされた寸法規定部材が多数形成された治具を用い、該治具の前記寸法規定部材が形成された面と前記アクチュエータ基板の前記栈と前記画素構成体が形成された面とを貼り合わせる第1の貼付け工程と、前記治具とアクチュエータ基板とを互いに接近する方向に加圧する加圧工程と、前記治具を取り外した後、前記アクチュエータ基板の少なくとも前記栈上に光導波板を貼り付ける第2の貼付け工程とを有することを特徴とする（請求項27記載の発明）。

この方法は、アクチュエータ基板に画素構成体と栈を形成し、該アクチュエータ基板と板部材に多数の寸法規定部材が設けられた治具とを貼り合わせ加圧することによって栈と画素構成体の寸法を規定し、その後、治具を取り外して、光導波板を貼り付けるというものである。

この場合も、前記治具を例えば金属などの剛性のある部材で構成すれば、画素構成

体と棧が形成されたアクチュエータ基板のうねりを当該治具とアクチュエータ基板との貼り合わせ加圧によって低減させることができ、高精度に棧及び画素構成体を形成することができる。

また、本発明に係る表示装置の製造方法は、多数の画素に対応した数のアクチュエータ部が配列されたアクチュエータ基板のうち、前記アクチュエータ部以外の箇所に複数の棧を形成する棧形成工程と、板部材の一方の面に、前記アクチュエータ基板に形成されるべき棧と高さがほぼ同じとされた寸法規定部材が多数形成された治具を用い、該治具の前記寸法規定部材が形成された面のうち、前記寸法規定部材が形成されていない部分であって、かつ、多数の画素に対応した箇所に画素構成体を形成する画素形成工程と、前記治具の前記寸法規定部材と画素構成体が形成された面と前記アクチュエータ基板の前記棧が形成された面とを貼り合わせる第1の貼付け工程と、前記治具とアクチュエータ基板とを互いに接近する方向に加圧する加圧工程と、前記治具を取り外して前記画素構成体を前記アクチュエータ基板に転写した後、前記アクチュエータ基板の少なくとも前記棧上に光導波板を貼り付ける第2の貼付け工程とを有することを特徴とする（請求項28記載の発明）。

この方法は、アクチュエータ基板に棧を形成し、板部材に多数の寸法規定部材が設けられた治具に画素構成体を形成し、これらアクチュエータ基板と治具とを貼り合わせ加圧することによって棧と画素構成体の寸法を規定し、その後、治具を取り外して、アクチュエータ基板に画素構成体を転写させた後、光導波板を貼り付けるというものである。

この場合も、前記治具を例えば金属などの剛性のある部材で構成すれば、画素構成体が形成されたアクチュエータ基板のうねりを当該治具とアクチュエータ基板との貼り合わせ加圧によって低減させることができ、高精度に棧及び画素構成体を形成することができる。

本発明に係る表示装置の製造方法は、板部材の一方の面に、前記アクチュエータ基板に形成されるべき棧と高さがほぼ同じとされた寸法規定部材が多数形成された治具を用い、該治具の前記寸法規定部材が形成された面のうち、前記寸法規定部材が形成されていない部分であって、かつ、多数の画素に対応した箇所以外の箇所に複数の棧を形成する棧形成工程と、該治具の前記寸法規定部材が形成された面のうち、前記寸

法規定部材が形成されていない部分であって、かつ、多数の画素に対応した箇所画素構成体を形成する画素形成工程と、多数の画素に対応した数のアクチュエータ部が配列されたアクチュエータ基板を前記治具上の前記棧及び画素構成体上に貼り付ける第1の貼付け工程と、前記治具とアクチュエータ基板とを互いに接近する方向に加圧する加圧工程と、前記治具を除去して前記棧及び前記画素構成体を前記アクチュエータ基板に転写した後、少なくとも前記棧上に光導波板を貼り付ける第2の貼付け工程とを有することを特徴とする（請求項29記載の発明）。

この方法は、板部材に多数の寸法規定部材が設けられた治具に棧と画素構成体を形成し、該治具とアクチュエータ基板とを貼り合わせ加圧することによって棧と画素構成体の寸法を規定し、その後、治具を取り外して、アクチュエータ基板に棧と画素構成体を転写させた後、光導波板を貼り付けるというものである。

この場合も、前記治具を例えば金属などの剛性のある部材で構成すれば、アクチュエータ基板のうねりを当該治具とアクチュエータ基板との貼り合わせ加圧によって低減させることができ、アクチュエータ基板に対して高精度に棧及び画素構成体を転写形成することができる。

これらの製造方法のうち、板材や治具に棧を形成する製造方法においては、前記板材や治具に前記棧を構成する部材を液体の表面張力を利用して貼り合わせるようにしてもよい（請求項30記載の発明）。この場合、その後の板材や治具の除去を簡単に行うことができる。

これらの製造方法のうち、板材や治具に棧を形成する製造方法においては、前記板材や治具の所要箇所に前記棧を形成した後、該棧を硬化させるようにしてもよい（請求項31記載の発明）。

そして、これらの製造方法の前記加圧工程において、前記アクチュエータ基板と該アクチュエータ基板と加圧されるべき部材とを加圧した状態で、少なくとも前記画素構成体を硬化させるようにしてもよい（請求項32記載の発明）。また、前記光導波板のうち、前記棧と対応する箇所にギャップ形成層を有するようにしてもよい（請求項33記載の発明）。

また、これらの方法において、前記光導波板を貼り付ける前に、予め前記棧上にギャップ形成層を形成しておくようにしてもよい（請求項34記載の発明）。この場合

、ギャップ形成層の存在によって、画素構成体と光導波板との間のギャップを全画素にわたって均一にすることが更に容易になり、前記ギャップの大きさも容易に制御することが可能となる。

また、板材や治具とアクチュエータ基板との貼り合わせ、あるいは光導波板とアクチュエータ基板との貼り合わせにおいて、少なくとも画素構成体が硬化していない状態で光導波板や板材又は治具を貼り付け加圧するようにした場合、その加圧の際に、光導波板や板材又は治具が栈と画素構成体とをアクチュエータ基板側に押し付けるかたちになり、少なくとも前記画素構成体を硬化させた際に栈の上面と画素構成体の上面とがほぼ同一面となる。

この場合、画素構成体の構成材料として、画素構成体の硬化時に該画素構成体が収縮する材料を用いることで、栈と画素構成体との硬化時に画素構成体と光導波板との間にギャップを形成させることができる。

また、ギャップを形成するための別の方法としては、例えば、光導波板を貼り付け加圧する際に、画素構成体を加熱して膨張させたり、アクチュエータ部を変位させて画素構成体を光導波板に接触させておくなどの方法や、これらの組み合わせを採用することができる。その後の栈と画素構成体の硬化時に、画素構成体が収縮してあるいはアクチュエータ部の変位リセット（復元）によって画素構成体と光導波板との間に一定のギャップが形成されることになる。

その他、自然状態で画素構成体が光導波板に接触する形態とした場合は、アクチュエータ部の変位動作として、画素構成体が光導波板から離反する方向に変位する場合に適用させることができる。

これらの製造方法において、アクチュエータ基板に前記板材あるいは光導波板を貼り付ける際に、栈は硬化しているか、あるいは一部硬化していることが好ましい。この場合、栈がスペーサとして作用し、アクチュエータ基板と板材あるいは光導波板との間の距離が規定されることになる。

前記アクチュエータ基板と該アクチュエータ基板と加圧されるべき部材（光導波板や板材又は治具）との加圧の際に、ギャップ形成のための前処理を行い、その後の少なくとも前記画素構成体の硬化において、前記画素構成体と前記光導波板との間に所定のギャップを形成するようにしてもよい（請求項 3 5 記載の発明）。

これは、すでに説明したように、光導波板や板材又は治具を貼り付け加圧する際に、画素構成体を加熱して膨張させたり、アクチュエータ部を変位させて画素構成体を光導波板や板材又は治具に接触させる方法である。この方法を採用することによって、画素構成体と光導波板との間に一定のギャップを形成することが容易になり、全面素にわたって均一な輝度を得ることが可能となる。

特に、前記アクチュエータ基板と該アクチュエータ基板と加圧されるべき部材（光導波板や板材又は治具）との加圧に真空包装法を用いることが好ましい（請求項36記載の発明）。即ち、例えばアクチュエータ基板に反りやうねりがあった場合であっても、アクチュエータ基板と光導波板や板材又は治具とを均等に加圧することができ、これによって、光導波板や板材又は治具とアクチュエータ基板とが互いにならない合うことになるため、光導波板を貼り付けた際に、最終的にすべての画素構成体と光導波板との間に一定のギャップを形成することができる。

ここで、画素構成体の厚みがばらつくと、画素形成後のアクチュエータ部の変位（変位量）が大きくばらつくことになるが、この方法では、画素構成体の厚みが全体にわたって均一に形成されることから、このようなアクチュエータ部の変位（変位量）のばらつきを抑えることができる。

また、画素構成体の厚みにばらつきが生じにくいことから、熱膨張や収縮による画素構成体の変形にばらつきがなくなり、熱を受けた場合でもギャップ量にばらつきが生じにくいという利点がある。

また、前記アクチュエータ基板と該アクチュエータ基板と加圧されるべき部材（光導波板や板材又は治具）との加圧に低圧プレス法を用いるようにしてもよい（請求項37記載の発明）。この場合、アクチュエータ基板に加わる応力が小さくなるため、アクチュエータ部の損傷等を防止することができる。しかも、貼付けによるアクチュエータ基板や光導波板の変形が少なく、残留応力が小さいことから、ギャップの安定性や耐久性を向上させることができる。

また、これらの方法において、前記第1の貼付け工程で前記アクチュエータ基板に貼り付けられる部材（板材や治具）として、前記画素構成体に対応する箇所それぞれ凸部を有するものを使用し、前記板材や治具とアクチュエータ基板との加圧時に、前記画素構成体の表面に前記凸部に応じた凹部を形成するようにしてもよい。（請求項

38記載の発明)。

また、これらの方法において、前記第1の貼付け工程で前記アクチュエータ基板に貼り付けられる部材(板材や治具)として、前記画素構成体に対応する箇所にそれぞれ凸部を有するものを使用し、前記板材や治具とアクチュエータ基板との加圧時に、前記画素構成体の表面に前記凸部に応じた段差を形成するようにしてもよい(請求項39記載の発明)。

また、これらの方法において、前記第1の貼付け工程で前記アクチュエータ基板に貼り付けられる部材(板材や治具)として、前記画素構成体に対応する箇所にそれぞれ凸形状が形成されたものを使用し、前記板材や治具とアクチュエータ基板との加圧時に、前記画素構成体の表面に前記凸形状に応じた凹形状を形成するようにしてもよい(請求項40記載の発明)。

なお、栈及び画素構成体の形成は、膜形成法やセラミックス焼結法を用いて行うようにしてもよい。この膜形成法には、スクリーン印刷、フォトリソグラフィ法、フィルム貼着法、スプレー・ディッピング、塗布、スタンピング(スタンプを押すように液体状の材料をのせる方法)等の厚膜形成手法や、イオンビーム、スパッタリング、真空蒸着、イオンプレーティング、CVD、めっき等の薄膜形成手法がある。

また、画素構成体の表面に凹部や段差を形成する方法としては、表面に凸部を有する板材を用いる。これには、ガラスで構成された板材に一般の薄膜形成法により金属膜やレジスト膜を形成する方法が好ましく用いられる。凸部のパターンや高さを自由に変更できる利点がある。凸部の高さは、0.1~2 μ m程度が好ましい。

画素構成体の表面に凹部や段差を形成する方法としては、その他、画素構成体の表面に対する平面研磨やレーザによる表面加工を用いることもできる。レーザ加工は、凹部を形成するだけでなく、加熱による表面改質の効果もあり、しかも、加工パターンを任意に設計できることから特に好ましく用いられる。

また、画素構成体の表面を凹形状にする方法としては、画素構成体の硬化時にアクチュエータ部に電圧を印加しておく方法や加熱する方法がある。板材で面出し硬化中に加熱する方法と、板材の除去後に加熱する方法とがあり、画素構成体の材質により選択できる。加熱温度は15℃~150℃が用いられ、特に20℃~80℃が好ましく用いられる。

図面の簡単な説明

図1は、第1の実施の形態に係る表示装置を示す構成図である。

図2は、アクチュエータ部と画素構成体の第1の構成例を示す構成図である。

図3は、アクチュエータ部に形成される一対の電極の平面形状の一例を示す図である。

図4Aは、形状保持層の長軸に沿って一対の電極のくし歯を配列させた1つの例を示す説明図である。

図4Bは、他の例を示す説明図である。

図5Aは、形状保持層の短軸に沿って一対の電極のくし歯を配列させた1つの例を示す説明図である。

図5Bは、他の例を示す説明図である。

図6は、アクチュエータ部に形成される一対の電極の他の例を示す構成図である。

図7は、アクチュエータ部を空所側に凸となるように、他方向に屈曲変位させる場合の表示装置を示す構成図である。

図8は、アクチュエータ部と画素構成体の第2の構成例を示す構成図である。

図9は、アクチュエータ部と画素構成体の第3の構成例を示す構成図である。

図10は、アクチュエータ部と画素構成体の第4の構成例を示す構成図である。

図11は、画素構成体の四方にそれぞれ栈を形成した場合の構成を示す説明図である。

図12は、第1の変形例に係る栈の構成を示す説明図である。

図13は、第2の変形例に係る栈の構成を示す説明図である。

図14は、第3の変形例に係る栈の構成を示す説明図である。

図15は、第4の変形例に係る栈の構成を示す説明図である。

図16は、第5の変形例に係る栈の構成を示す説明図である。

図17は、電圧変調方式の階調制御を説明するためのアクチュエータ部の変位特性図である。

図18は、画素のドット面積と接触性並びにエバネッセント効果による階調制御の原理を示す説明図である。

図19は、第2の実施の形態に係る表示装置を示す構成図である。

図20は、第2の実施の形態に係る表示装置の変形例を示す構成図である。

図21は、第3の実施の形態に係る表示装置を示す構成図である。

図22は、第4の実施の形態に係る表示装置を示す構成図である。

図23は、第5の実施の形態に係る表示装置を示す構成図である。

図24は、第6の実施の形態に係る表示装置を示す構成図である。

図25は、第1～第6の形態に係る表示装置による大画面表示装置を背面側から見て示す斜視図である。

図26A～図26Cは、第1の製造方法を示す工程図である。

図27A～図27Cは、フォトリソグラフィ法の第1の方法を示す工程図である。

図28A～図28Cは、フォトリソグラフィ法の第2の方法を示す工程図である。

図29は、フィルム貼付法を示す説明図である。

図30は、真空包装法を示す説明図である。

図31は、低圧プレス法を示す説明図である。

図32A～図32Dは、第2の製造方法を示す工程図である。

図33A～図33Cは、第3の製造方法を示す工程図である。

図34は、板材として凸部を有するものを使用して、画素構成体に複数の凹部を形成した状態を示す説明図である。

図35は、板材として凸部を有するものを使用して、画素構成体に段差を形成した状態を示す説明図である。

図36は、板材として凸形状を有するものを使用して、画素構成体に凹形状を形成した状態を示す説明図である。

図37は、板材として凸部を有するものを使用して、画素構成体の上端を栈の上端よりも高く形成した状態を示す説明図である。

図38A及び図38Bは、第3及び第4の製造方法において、栈の上面に直接光導波板を貼り付ける例を示す工程図である。

図39A～図39Dは、第4の製造方法を示す工程図である。

図40A及び図40Bは、第3及び第4の製造方法において、光導波板にギャップ形成層を形成した後に栈の上面に光導波板を貼り付ける例を示す工程図である。

図41A～図41Cは、第5の製造方法を示す工程図である。

図42A～図42Cは、第6の製造方法を示す工程図である。

図43A及び図43Bは、第7の製造方法を示す工程図である。

図44A～図44Cは、第8の製造方法を示す工程図（その1）である。

図45A及び図45Bは、第8の製造方法を示す工程図（その2）である。

図46A～図46Cは、第9の製造方法を示す工程図（その1）である。

図46A及び図46Bは、第9の製造方法を示す工程図（その2）である。

図48は、フィルムからなる栈を板材に対して液体（例えば水）の表面張力を利用して貼り合わせた状態を示す説明図である。

図49A～図49Cは、第10の製造方法を示す工程図（その1）である。

図50A及び図50Bは、第10の製造方法を示す工程図（その2）である。

図51A～図51Cは、第11の製造方法を示す工程図（その1）である。

図52A及び図52Bは、第11の製造方法を示す工程図（その2）である。

図53A～図53Cは、第12の製造方法を示す工程図（その1）である。

図54A及び図54Bは、第12の製造方法を示す工程図（その2）である。

図55A～図55Cは、第13の製造方法を示す工程図（その1）である。

図56A及び図56Bは、第13の製造方法を示す工程図（その2）である。

図57A～図57Cは、第14の製造方法を示す工程図（その1）である。

図58A及び図58Bは、第14の製造方法を示す工程図（その2）である。

図59A～図59Cは、第15の製造方法を示す工程図（その1）である。

図60A及び図60Bは、第15の製造方法を示す工程図（その2）である。

図61A～図61Cは、第16の製造方法を示す工程図（その1）である。

図62A及び図62Bは、第16の製造方法を示す工程図（その2）である。

図63は、提案例に係る表示装置を示す構成図である。

発明を実施するための最良の形態

以下、本発明に係る表示装置及び表示装置の製造方法のいくつかの実施の形態例を図1～図62Bを参照しながら説明する。

第1の実施の形態に係る表示装置Daは、図1に示すように、光源100からの光

10が導入される光導波板12と、該光導波板12の背面に対向して設けられ、かつ多数のアクチュエータ部14が画素に対応してマトリクス状あるいは千鳥状に配列された駆動部16を有して構成されている。

各アクチュエータ部14上にはそれぞれ画素構成体102が積層されている。画素構成体102は、光導波板12との接触面積を大きくして画素に応じた面積にする機能を有する。

駆動部16は、例えばセラミックスにて構成されたアクチュエータ基板18を有し、該アクチュエータ基板18の各画素に応じた位置にアクチュエータ部14が配設されている。前記アクチュエータ基板18は、一主面が光導波板12の背面に対向するように配置されており、該一主面は連続した面（面一）とされている。アクチュエータ基板18の内部には、各画素に対応した位置にそれぞれ後述する振動部を形成するための空所20が設けられている。各空所20は、アクチュエータ基板18の他端面に設けられた径の小さい貫通孔18aを通じて外部と連通されている。

前記アクチュエータ基板18のうち、空所20の形成されている部分が薄肉とされ、それ以外の部分が厚肉とされている。薄肉の部分は、外部応力に対して振動を受けやすい構造となって振動部22として機能し、空所20以外の部分は厚肉とされて前記振動部22を支持する固定部24として機能するようになっている。

つまり、アクチュエータ基板18は、最下層である基板層18Aと中間層であるスペーサ層18Bと最上層である薄板層18Cの積層体であって、スペーサ層18Bのうち、画素に対応する箇所に空所20が形成された一体構造体として把握することができる。基板層18Aは、補強用基板として機能するほか、配線用の基板としても機能するようになっている。なお、前記アクチュエータ基板18は、一体焼成であっても、後付けであってもよい。

ここで、アクチュエータ部14と画素構成体102の具体例を図2～図10に基づいて説明する。なお、図2～図10の例では、後述する栈70と光導波板12との間にギャップ形成層50を設けた場合を示す。

まず、アクチュエータ部14は、図2に示すように、前記振動部22と固定部24のほか、該振動部22上に直接形成された圧電／電歪層や反強誘電体層等の形状保持層26と、該形状保持層26の上面に形成された一対の電極28（ロー電極28a及

びカラム電極 28 b) とを有する。

一对の電極 28 は、形状保持層 26 に対して上下に形成した構造や片側だけに形成した構造でもかまわないが、アクチュエータ基板 18 と形状保持層 26 との接合性を有利にするには、この例のように、アクチュエータ基板 18 と形状保持層 26 とが段差のない状態で直接接するように、形状保持層 26 の上部（アクチュエータ基板 18 とは反対側）のみに一对の電極 28 を形成した方が好ましい。

一对の電極 28 の平面形状としては、図 3 に示すように、多数のくし歯が相補的に対峙した形状としてもよく、その他、特開平 10-78549 号公報にも示されているように、渦巻き状や多枝形状などを採用することができる。

形状保持層 26 の平面形状を例えば楕円形状とし、一对の電極 28 をくし歯状に形成した場合は、あ図 4 A 及び図 4 B に示すように、形状保持層 26 の長軸に沿って一对の電極 28 のくし歯が配列される形態や、図 5 A 及び図 5 B に示すように、形状保持層 26 の短軸に沿って一对の電極 28 のくし歯が配列される形態などがある。

そして、図 4 A 及び図 5 A に示すように、一对の電極 28 のくし歯の部分が形状保持層 26 の平面形状内に含まれる形態や、図 4 B 及び図 5 B に示すように、一对の電極 28 のくし歯の部分が形状保持層 28 の平面形状からはみ出した形態などがある。図 4 B 及び図 5 B に示す形態の方がアクチュエータ部 14 の屈曲変位において有利である。

一对の電極 28 としては、例えば図 6 に示すように、形状保持層 26 の下面に例えばロー電極 28 a を形成し、形状保持層 26 の上面にカラム電極 28 b を形成するようにしてもよい。

この場合、図 1 に示すように、アクチュエータ部 14 を光導波板 12 側に凸となるように、一方向に屈曲変位させることが可能であり、その他、図 7 に示すように、アクチュエータ部 14 を空所 20 側に凸となるように、他方向に屈曲変位させることも可能である。

一方、画素構成体 102 は、例えば図 2 に示すように、アクチュエータ部 14 上に形成された変位伝達部としての白色散乱体 32 と色フィルタ 40 と透明層 48 の積層体で構成することができる。

更に、図 8 に示すように、白色散乱体 32 の下層に光反射層 72 を介在させるよう

にしてもよい。この場合、光反射層 7 2 を金属等の導電層にて構成すると、アクチュエータ部 1 4 における一対の電極 2 8 a 及び 2 8 b 間が短絡するおそれがあるため、前記光反射層 7 2 とアクチュエータ部 1 4 間に絶縁層 7 4 を形成することが望ましい。

画素構成体 1 0 2 の他の例としては、例えば図 9 に示すように、アクチュエータ部 1 4 上に形成された変位伝達部を兼ねる有色散乱体 4 4 と透明層 4 8 の積層体で構成することもできる。この場合も図 1 0 に示すように、アクチュエータ部 1 4 と有色散乱体 4 4 との間に光反射層 7 2 と絶縁層 7 4 を介在させるようにしてもよい。

そして、この第 1 の実施の形態に係る表示装置 D a においては、図 1 に示すように、光導波板 1 2 とアクチュエータ基板 1 8 との間において、画素構成体 1 0 2 以外の部分に形成された棧 7 0 を有して構成され、図 1 の例では、棧 7 0 の上面に直接光導波板 1 2 が固着された場合を示している。棧 7 0 の材質は、熱、圧力に対して変形しないものが好ましい。

棧 7 0 は、例えば画素構成体 1 0 2 の四方に形成することができる。ここで、画素構成体 1 0 2 の四方とは、図 1 1 に示すように、例えば画素構成体 1 0 2 が平面ほぼ矩形あるいは楕円であれば、各コーナ一部に対応した位置などが挙げられ、1つの棧 7 0 が隣接する画素構成体 1 0 2 と共有される形態を示す。

次に、棧 7 0 の構成についてのいくつかの変形例を図 1 2 ～図 1 6 を参照しながら説明する。

まず、第 1 の変形例に係る棧は、図 1 2 に示すように、棧 7 0 に少なくとも 1 つの画素構成体 1 0 2 を囲む窓部 7 0 a を有する。代表的な構成例としては、例えば、棧 7 0 自体を板状に形成し、更に画素構成体 1 0 2 に対応した位置に画素構成体 1 0 2 の外形形状に類似した形状の窓部（開口） 7 0 a を形成する。これによって、画素構成体 1 0 2 の側面全部が棧 7 0 によって囲まれたかたちになり、アクチュエータ基板 1 8 と光導波板 1 2 との固着が更に強固なものとなる。

第 2 の変形例に係る棧は、図 1 3 に示すように、画素構成体の配列方向に沿って延び、かつ、前記画素構成体の配列を囲むストライプ状の開口 2 2 0 を有する。各開口 2 2 0 は、1 列あるいはそれ以上の列が含まれる開口幅を有し、本実施の形態では、1 列の画素構成体 1 0 2 群が含まれる開口幅を有した例を示す。

第3の変形例に係る栈70は、図14に示すように、前記画素構成体102の配列方向に沿ってライン状に延びた形状を有する。この場合、図15に示す第4の変形例に係る栈70のように、例えば断面形状がほぼ円形とされたワイヤ部材222を用いてもよい。図15の例では、栈70を構成するワイヤ部材222をアクチュエータ基板18に接着剤224によって固着した例を示す。ワイヤ部材222の断面形状としては、前記円形のほか、楕円や六角形や八角形などの多角形がある。

第5の変形例に係る栈70は、図16に示すように、アクチュエータ基板18のうち、画素構成体102以外の部分に該アクチュエータ基板18と一体にセラミックスで形成された構成を有する。

この場合、アクチュエータ基板18における栈70が形成された部分の機械的強度を向上させることが可能となり、アクチュエータ基板18の剛性が高くなる。その結果、例えばアクチュエータ基板18を持ち運ぶ際や保管時において、該アクチュエータ基板18に形成されたアクチュエータ部14、特にその振動部22を前記栈70で保護することができる。

ここで、表示装置Daの各構成部材、特に各構成部材の材料等の選定について説明する。

まず、光導波板12に入射される光10としては、紫外域、可視域、赤外域のいずれでもよい。光源100としては、白熱電球、重水素放電ランプ、蛍光ランプ、水銀ランプ、メタルハライドランプ、ハロゲンランプ、キセノンランプ、トリチウムランプ、発光ダイオード、レーザー、プラズマ光源、熱陰極管、冷陰極管などが用いられる。

振動部22は、高耐熱性材料であることが好ましい。その理由は、アクチュエータ部14を有機接着剤等の耐熱性に劣る材料を用いずに、固定部24によって直接振動部22を支持させる構造とする場合、少なくとも形状保持層26の形成時に、振動部22が変質しないようにするため、振動部22は、高耐熱性材料であることが好ましい。

また、振動部22は、アクチュエータ基板18上に形成される一対の電極28におけるロー電極28aに通じる配線（例えば行選択線）とカラム電極28bに通じる配線（例えば信号線）との電氣的な分離を行うために、電気絶縁材料であることが好ま

しい。

従って、振動部 22 は、高耐熱性の金属あるいはその金属表面をガラス等のセラミック材料で被覆したホーロー等の材料であってもよいが、セラミックスが最適である。

振動部 22 を構成するセラミックスとしては、例えば安定化された酸化ジルコニウム、酸化アルミニウム、酸化マグネシウム、酸化チタン、スピネル、ムライト、窒化アルミニウム、窒化珪素、ガラス、これらの混合物等を用いることができる。安定化された酸化ジルコニウムは、振動部 22 の厚みが薄くても機械的強度が高いこと、靱性が高いこと、形状保持層 26 及び一対の電極 28 との化学反応性が小さいこと等のため、特に好ましい。安定化された酸化ジルコニウムとは、安定化酸化ジルコニウム及び部分安定化酸化ジルコニウムを包含する。安定化された酸化ジルコニウムでは、立方晶等の結晶構造をとるため、相転移を起こさない。

一方、酸化ジルコニウムは、1000℃前後で、単斜晶と正方晶とで相転移し、この相転移のときにクラックが発生する場合がある。安定化された酸化ジルコニウムは、酸化カルシウム、酸化マグネシウム、酸化イットリウム、酸化スカンジウム、酸化イッテルビウム、酸化セリウム又は希土類金属の酸化物等の安定化剤を、1～30モル%含有する。振動部 22 の機械的強度を高めるために、安定化剤が酸化イットリウムを含有することが好ましい。このとき、酸化イットリウムは、好ましくは1.5～6モル%含有し、更に好ましくは2～4モル%含有することであり、更に0.1～5モル%の酸化アルミニウムが含有されていることが好ましい。

また、結晶相は、立方晶+単斜晶の混合相、正方晶+単斜晶の混合相、立方晶+正方晶+単斜晶の混合相などであってもよいが、中でも主たる結晶相が、正方晶、又は正方晶+立方晶の混合相としたものが、強度、靱性、耐久性の観点から最も好ましい。

振動部 22 がセラミックスからなるとき、多数の結晶粒が振動部 22 を構成するが、振動部 22 の機械的強度を高めるため、結晶粒の平均粒径は、0.05～2μmであることが好ましく、0.1～1μmであることが更に好ましい。

固定部 24 は、セラミックスからなることが好ましいが、振動部 22 の材料と同一のセラミックスでもよいし、異なってもよい。固定部 24 を構成するセラミック

スとしては、振動部 22 の材料と同様に、例えば、安定化された酸化ジルコニウム、酸化アルミニウム、酸化マグネシウム、酸化チタン、スピネル、ムライト、窒化アルミニウム、窒化珪素、ガラス、これらの混合物等を用いることができる。

特に、この第 1 の実施の形態に係る表示装置 D a で用いられるアクチュエータ基板 18 は、酸化ジルコニウムを主成分とする材料、酸化アルミニウムを主成分とする材料、又はこれらの混合物を主成分とする材料等が好適に採用される。その中でも、酸化ジルコニウムを主成分としたものが更に好ましい。

なお、焼結助剤として粘土等を加えることもあるが、酸化珪素、酸化ホウ素等のガラス化しやすいものが過剰に含まれないように、助剤成分を調節する必要がある。なぜなら、これらガラス化しやすい材料は、アクチュエータ基板 18 と形状保持層 26 とを接合させる上で有利ではあるものの、アクチュエータ基板 18 と形状保持層 26 との反応を促進し、所定の形状保持層 26 の組成を維持することが困難となり、その結果、素子特性を低下させる原因となるからである。

即ち、アクチュエータ基板 18 中の酸化珪素等は重量比で 3 % 以下、更に好ましくは 1 % 以下となるように制限することが好ましい。ここで、主成分とは、重量比で 50 % 以上の割合で存在する成分をいう。

形状保持層 26 は、上述したように、圧電／電歪層や反強誘電体層等を用いることができるが、形状保持層 26 として圧電／電歪層を用いる場合、該圧電／電歪層としては、例えば、ジルコン酸鉛、マグネシウムニオブ酸鉛、ニッケルニオブ酸鉛、亜鉛ニオブ酸鉛、マンガンニオブ酸鉛、マグネシウムタンタル酸鉛、ニッケルタンタル酸鉛、アンチモンスズ酸鉛、チタン酸鉛、チタン酸バリウム、マグネシウムタングステン酸鉛、コバルトニオブ酸鉛等、又はこれらの何れかの組合せを含有するセラミックスが挙げられる。

主成分がこれらの化合物を 50 重量%以上含有するものであってもよいことはいうまでもない。また、前記セラミックスのうち、ジルコン酸鉛を含有するセラミックスは、形状保持層 26 を構成する圧電／電歪層の構成材料として最も使用頻度が高い。

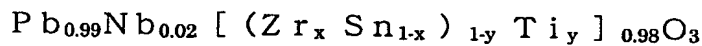
また、圧電／電歪層をセラミックスにて構成する場合、前記セラミックスに、更に、ランタン、カルシウム、ストロンチウム、モリブデン、タングステン、バリウム、ニオブ、亜鉛、ニッケル、マンガン等の酸化物、若しくはこれらの何れかの組合せ、

又は他の化合物を、適宜、添加したセラミックスを用いてもよい。例えば、マグネシウムニオブ酸鉛とジルコン酸鉛及びチタン酸鉛とからなる成分を主成分とし、更にランタンやストロンチウムを含有するセラミックスを用いることが好ましい。

圧電／電歪層は、緻密であっても、多孔質であってもよく、多孔質の場合、その気孔率は40%以下であることが好ましい。

形状保持層26として反強誘電体層を用いる場合、該反強誘電体層としては、ジルコン酸鉛を主成分とするもの、ジルコン酸鉛とスズ酸鉛とからなる成分を主成分とするもの、更にはジルコン酸鉛に酸化ランタンを添加したもの、ジルコン酸鉛とスズ酸鉛とからなる成分に対してジルコン酸鉛やニオブ酸鉛を添加したものが望ましい。

特に、下記の組成のようにジルコン酸鉛とスズ酸鉛からなる成分を含む反強誘電体膜をアクチュエータ部14のような膜型素子として適用する場合、比較的低電圧で駆動することができるため、特に好ましい。



但し、 $0.5 < x < 0.6$, $0.05 < y < 0.063$, $0.01 < \text{Nb} < 0.03$

また、この反強誘電体膜は、多孔質であってもよく、多孔質の場合には気孔率30%以下であることが望ましい。

そして、前記アクチュエータ基板18における振動部22の厚みと該振動部22上に形成される形状保持層26の厚みは、同次元の厚みであることが好ましい。なぜなら、振動部22の厚みが極端に形状保持層26の厚みより厚くなると（1桁以上異なると）、形状保持層26の焼成収縮に対して、振動部22がその収縮を妨げるように働くため、形状保持層26とアクチュエータ基板18界面での応力が大きくなり、はがれ易くなる。反対に、厚みの次元が同程度であれば、形状保持層26の焼成収縮にアクチュエータ基板18（振動部22）が追従し易くなるため、一体化には好適である。具体的には、振動部22の厚みは、1～100μmであることが好ましく、3～50μmが更に好ましく、5～20μmが更に好ましい。一方、形状保持層26は、その厚みとして5～100μmが好ましく、5～50μmが更に好ましく、5～30μmが更に好ましい。

前記形状保持層26上に形成される一対の電極28は、用途に応じて適宜な厚さとするが、0.01～50μmの厚さであることが好ましく、0.1～5μmが更に好

ましい。また、前記一対の電極28は、室温で固体であって、導電性の金属で構成されていることが好ましい。例えば、アルミニウム、チタン、クロム、鉄、コバルト、ニッケル、銅、亜鉛、ニオブ、モリブデン、ルテニウム、ロジウム、銀、スズ、タンタル、タングステン、イリジウム、白金、金、鉛等を含有する金属単体又は合金が挙げられる。これらの元素を任意の組合せで含有していてもよいことはいうまでもない。

光導波板12は、その内部に導入された光10が前面及び背面において光導波板12の外部に透過せずに全反射するような光屈折率を有するものであり、導入される光の波長領域での透過率が均一で、かつ高いものであることが必要である。このような特性を具備するものであれば、特にその材質は制限されないが、具体的には、例えばガラス、石英、アクリル等の透光性プラスチック、透光性セラミックスなど、あるいは異なる屈折率を有する材料の複数層構造体、又は表面にコーティング層を設けたものなどが一般的なものとして挙げられる。

また、画素構成体102に含まれる色フィルタ40及び有色散乱体44等の着色層とは、特定の波長領域の光だけを取り出すために用いられる層であり、例えば特定の波長の光を吸収、透過、反射、散乱させることで発色させるものや、入射した光を別の波長のものに変換させるものなどがある。透明体、半透明体及び不透明体を単独、もしくは組み合わせて用いることができる。

構成は、例えば染料、顔料、イオンなどの色素や蛍光体を、ゴム、有機樹脂、透光性セラミックス、ガラス、液体等の内部に分散、溶解したものや、それらの表面に塗布したもの、更には上述の色素や蛍光体等の粉末を焼結させたり、プレスして固めたものなどがある。材質及び構造については、これらを単独で用いてもよいし、これらを組み合わせて用いてもよい。

色フィルタ40と有色散乱体44との違いは、光10を導入した光導波板12に画素構成体102を接触させて発光状態にしたときに、着色層のみでの反射、散乱による漏れ光の輝度値が、画素構成体102及びアクチュエータ部14を含めた全構成体の反射、散乱による漏れ光の輝度値の0.5倍以上であれば、その着色層は有色散乱体44であると定義し、0.5倍未満であればその着色層は色フィルタ40であると定義する。

測定法の具体例を挙げると、光10が導入された光導波板12の背面に、前記着色層単体を接触させたとき、該着色層から該光導波板12を通過し、前面に漏れ出した光の正面輝度がA (nt)であり、また、該着色層の光導波板12と接する反対側の面に更に画素構成体102を接触させたとき、前面に漏れ出した光の正面輝度がB (nt)であったとすると、 $A \geq 0.5 \times B$ を満たすときは、前記着色層は有色散乱体44であり、 $A < 0.5 \times B$ を満たすときは色フィルタ40である。

上述の正面輝度とは、輝度を測定する輝度計と前記着色層とを結ぶ線が、前記光導波板12の前記着色層と接する面に対して垂直であるように輝度計を配置（輝度計の検出面は光導波板の板面に平行）して計測した輝度である。

有色散乱体44の利点は、層の厚みにより色調や輝度が変化しにくいことであり、そのための層形成法として、層厚の厳密な制御は難しいが、コストが安いスクリーン印刷など、多種の適用が可能である。

また、有色散乱体44が変位伝達部を兼ねることにより、層形成プロセスを簡略化できるほか、それら全体の層厚を薄くできるため、表示装置全体の厚みを薄くすることが可能であり、また、アクチュエータ部14の変位量低下の防止及び応答速度の向上が可能である。

色フィルタ40の利点は、光導波板12がフラットで表面平滑性が高いため、光導波板12側に層を形成するときには、層形成が容易になり、プロセスの選択の幅が広がり、安価になるだけでなく、色調、輝度に影響を及ぼす層厚の制御が容易になる。

なお、色フィルタ40や有色散乱体44等の着色層の膜形成法としては、特に制限はなく、公知の各種の膜形成法を適用することができる。例えば光導波板12やアクチュエータ部14の面上に、チップ状、フィルム状の着色層を直接貼り付けるフィルム貼着法ほか、着色層の原材料となる粉末、ペースト、液体、気体、イオン等を、スクリーン印刷、フォトリソグラフィ法、スプレー・ディッピング、塗布等の厚膜形成手法や、イオンビーム、スパッタリング、真空蒸着、イオンプレーティング、CVD、めっき等の薄膜形成手法により成膜し、着色層を形成する方法がある。

次に、第1の実施の形態に係る表示装置Daの動作を図1を参照しながら簡単に説明する。まず、光導波板12の例えば端部から光10が導入される。この場合、光導波板12の屈折率の大きさを調節することにより、全ての光10が光導波板12の前

面及び背面において透過することなく内部で全反射する。この場合、光導波板 12 の反射率 n としては、1.3～1.8 が望ましく、1.4～1.7 がより望ましい。

この状態において、あるアクチュエータ部 14 が選択状態とされて、当該アクチュエータ部 14 が光導波板 12 側に凸となるように屈曲変位、即ち、一方向に屈曲変位して、画素構成体 102 の端面が光導波板 12 に対して光 10 の波長以下の距離で接触すると、それまで全反射していた光 10 は、画素構成体 102 の表面で反射し、散乱光 42 となる。この散乱光 42 は、一部は再度光導波板 12 の中で反射するが、散乱光 42 の大部分は光導波板 12 で反射されることなく、光導波板 12 の前面（表面）を透過することになる。これによって、当該アクチュエータ部 14 に対応する画素がオン状態となり、そのオン状態が発光というかたちで具現され、しかも、その発光色は画素構成体 102 に含まれる色フィルタ 40 あるいは有色散乱体 44 の色に対応したものとなる。

つまり、この表示装置 Da は、画素構成体 102 の光導波板 12 への接触の有無により、光導波板 12 の前面における光の発光（漏れ光）の有無を制御することができる。特に、この第 1 の実施の形態に係る表示装置 Da では、光導波板 12 に対して画素構成体 102 を接近・離隔方向に変位動作させる 1 つの単位を例えば 1 画素として考えれば、この画素を多数マトリクス状、あるいは各行に関し千鳥状に配列するようにしているため、入力される画像信号の属性に応じて各画素での変位動作を制御することにより、陰極線管や液晶表示装置並びにプラズマディスプレイと同様に、光導波板 12 の前面、即ち、表示面に画像信号に応じた映像（文字や図形等）を表示させることができる。

そして、表示の階調制御においては、例えば電圧変調方式や時間変調方式を採用することができる。例えば電圧変調方式においては、例えば 1 つの行を選択している場合において、当該選択行に配列される多数のアクチュエータ部 14 に対し、各アクチュエータ部 14 の階調に応じた電圧を印加する。各アクチュエータ部 14 は、印加された電圧のレベルに応じて一方向に変位し、図 17 の例では、電圧 V_1 、 V_2 、 \dots 、 V_n に対して変位量が Z_1 、 Z_2 、 \dots 、 Z_n というように、線形的に変位することになる。

そして、例えばアクチュエータ部 14 が変位量 Z_1 ほど変位した時点で、例えば図

14に示すように、画素構成体102の一主面と光導波板12の背面との間の距離Dが光10（光導波板12に導入される光10）の波長 λ に相当する距離となり、例えば変位量 Z_n ほど変位した時点で、理想的には画素構成体の一主面が光導波板12の背面に完全に密着する。

画素構成体102が光導波板12の裏面に向かって接近し、該画素構成体102の一主面と光導波板12の背面間の距離が光10の波長 λ 以下となった場合、その距離が短くなるにつれて光導波板12の表面から放射される散乱光の光量が多くなり、当該アクチュエータ部14に対応する画素の輝度レベルが高くなる。

この現象は、以下のエバネッセント効果で説明することができる。一般に、光導波板12における例えば背面の周囲には、図18に示すように、光のしみ出し（エバネッセント波）による領域（エバネッセント領域）104が存在する。そして、このエバネッセント領域104の深さ d_p は、光導波板12と外部空間との界面（この例では、光導波板12の背面）におけるエバネッセント波のエネルギー値が $1/e$ になる深さを示し、以下の（1）式で与えられ、また、エバネッセント波のエネルギー E は、以下の（2）式で与えられる。

$$d_p = \lambda / [2\pi n_1 \sqrt{\{ \sin^2 \theta - (n_2 / n_1)^2 \}}] \quad \dots (1)$$

$$E = \exp \{ - (D / d_p) \} \quad \dots (2)$$

ここで、 λ は光10の波長を示し、 θ は図18に示すように、光導波板12から外部空間に光10が入射するときの角度（入射角）を表す。また、 n_1 は光導波板12の光屈折率を示し、 n_2 は外部空間の光屈折率を示す。

前記（1）式により、前記深さ d_p は、光10の波長 λ が増加するにつれて大きくなり、入射角 θ が臨界角に近づくほど大きくなることが予想できる。一方、エバネッセント波のエネルギー E は、前記（2）式に示すように、光導波板12の裏面に近づくほど大きく、前記光導波板12の裏面から離れるに従って指数関数的に減衰する。画素構成体102の表面にて反射される光（散乱光42）の光量は、前記エバネッセント波のエネルギー E に比例することから、散乱光42の光量も、画素構成体102が光導波板12の裏面に近づくほど多くなり、前記光導波板12の裏面から離れるに従って指数関数的に減少することになる。

このとき、アクチュエータ部14における形状保持層26の形状保持効果により、

当該アクチュエータ部14は、選択時の変位量を保持し続け、当該画素の発光状態が一定期間維持される。

そして、カラー表示方式に適用させる場合は、画素構成体102に含まれる色フィルタ40（例えば三原色フィルタや補色フィルタ）の配色などの関係によって、例えば互いに隣接する3つの画素構成体（RGB配列）や互いに隣接する4つの画素構成体（市松配列等）にて1つの画素を構成させるようにすればよい。

このように、第1の実施の形態に係る表示装置Daにおいては、光導波板12とアクチュエータ基板18との間において、画素構成体102以外の部分に棧70を形成するようにしている。

棧70を設けずに、光導波板12とアクチュエータ基板18とを画面の周縁だけで固定した場合、アクチュエータ部14の動きでアクチュエータ基板18に振動が生じ、そのたびに変位の基準が変化し、画素のオン/オフ動作とアクチュエータ部14の変位とが対応しなくなる場合が生じる。

しかし、この第1の実施の形態に係る表示装置Daにおいては、上述のように棧70を設けるようにしているため、あるアクチュエータ部14が変位動作したとしても、その振動は、棧70によって吸収され、変位の基準が変化するなどの不都合は生じなくなる。

また、画素構成体102の周りに形成された棧70の光導波板12に対する支持によって、画素構成体102と光導波板12との間のギャップgを全画素にわたって均一にすることが容易になる。しかも、棧70の高さを任意に変更することによって、前記ギャップgの大きさを容易に制御することができる。その結果、全画素にわたって均一な輝度を得ることができる。

特に、図11に示すように、棧70を各画素構成体102の四方に形成する場合においては、画素構成体102単位に4つの棧70が形成されたかたちとなるため、あるアクチュエータ部14の変位動作による振動が有効に吸収され、他のアクチュエータ部14の変位動作に影響を与えることがほとんど皆無となる。その結果、すべての画素におけるオン動作/オフ動作と変位との対応関係が良好となり、入力される画像信号に応じた映像を忠実に表示させることが可能となる。また、アクチュエータ基板18と光導波板12との固着も強固なものとなる。

また、図12に示すように、棧70に少なくとも1つの画素構成体102を囲む窓部70aを有するようにした場合においては、画素構成体102の側面全部が棧70によって囲まれたかたちになり、アクチュエータ基板18と光導波板12との固着が更に強固なものとなる。しかも、あるアクチュエータ部14の変位動作による振動が他のアクチュエータ部14の変位動作に影響を与えることが皆無となる。

次に、第2の実施の形態に係る表示装置D_bについて図19を参照しながら説明する。なお、図1と対応するものについては同符号を付してその重複説明を省略する。

この第2の実施の形態に係る表示装置D_bは、図19に示すように、第1の実施の形態に係る表示装置D_a（図1参照）とほぼ同じ構成を有するが、棧70の先端と光導波板12間にギャップ形成層50が設けられている点で異なる。

このギャップ形成層50の存在により、該ギャップ形成層50にて画素構成体102と光導波板12との間のギャップ g を調整することができるため、全体の画素のギャップ g を均一化できるという効果を有する。この場合、画素構成体102の上面と棧70の上面（ギャップ形成層50と接触する面）の位置を揃えておくと、前記ギャップ g を調整しやすいという利点がある。

これを実現する方法としては、例えば、平坦なガラス面を用いて画素構成体102と棧70を同時に形成する方法や、画素構成体102と棧70を形成した後、研磨して面出しを行う方法などがある。

ここで、ギャップ形成層50の構成材料としては、例えば金属膜や、カーボンブラック、黒顔料、黒染料を含んだ膜、光散乱性の低い透明な膜等が挙げられる。これにより、ギャップ形成層50がブラックマトリクスとしての機能を併せ持つことができる。

中でも、Cr、Al、Ni、Ag等の金属膜をギャップ形成層50として使うと、光の吸収が小さいため、光導波板を伝搬する光の減衰、散乱を抑制することができ、特に好ましく用いられる。

また、カーボンブラック、黒顔料、黒染料を含んだ膜をギャップ形成層50として使うと、光の吸収性がよく、コントラストを向上させることができる。また、光散乱性の低い透明な膜をギャップ形成層50として使うと、光吸収性の良好な接着剤（あるいは黒染料や黒顔料を添加して光吸収性を高めた接着剤）と組み合わせることで、

光散乱を抑え、コントラストを高めることができる。

また、ギャップ形成層50の寸法としては、例えば、アクチュエータ部14が光導波板12側に凸に変位する場合を例にとると、ギャップ量 g の小さい限界（最小値）は、画素構成体102のオフ動作時にエバネッセント効果による光の漏れが無視できる程度に設定され、ギャップ量 g の大きな限界（最大値）は、アクチュエータ部14の変位によって、画素構成体102が光導波板12に接触できる範囲に設定される。従って、ギャップ形成層50の厚みは、前記ギャップ量 g が前記範囲に形成されるように調整され、1～5 μm 程度が特に好ましい。但し、画素構成体102と棧70との高さの差は、表示装置の各種実施の形態に応じて制御可能であり、それに応じてギャップ形成層50の厚みを最適化させるとよい。

ところで、図19に示す第2の実施の形態に係る表示装置D_bにおいては、ギャップ形成層50の幅を棧70の幅よりも大きくした例を示したが、その他、図20の変形例に係る表示装置D_b_aのように、ギャップ形成層50の幅を棧70の幅よりも小さくするようにしてもよい。この場合、ギャップ形成層50の光導波板12との接触面積が小さくなるため、不要な散乱光を低減でき、コントラストの向上を図る上で有利となる。

次に、第3の実施の形態に係る表示装置D_cについて図21を参照しながら説明する。なお、図19と対応するものについては同符号を付してその重複説明を省略する。

この第3の実施の形態に係る表示装置D_cは、図21に示すように、第2の実施の形態に係る表示装置D_b（図19参照）とほぼ同じ構成を有するが、画素構成体102の表面に複数の凹部110が形成されている点で異なる。この凹部110は、連続した溝として形成するようにしてもよい。

この第3の実施の形態に係る表示装置D_cによれば、画素構成体102の光導波板12に対向する面積に応じて凹部110の形成個数あるいは大きさを規定することによって、各画素構成体102における光導波板12に対する接触面積をほとんど同じにすることが可能となり、全画素にわたって均一な輝度を得ることができる。

また、凹部110の存在によって、画素構成体102と光導波板12との密着性が緩和され、画素構成体102の光導波板12からの離反がスムーズに行われることに

なる。その結果、光導波板 1 2 への画素構成体 1 0 2 の貼り付きを防止することができる。応答速度の高速化を有効に図ることができる。

次に、第 4 の実施の形態に係る表示装置 D d について図 2 2 を参照しながら説明する。なお、図 1 9 と対応するものについては同符号を付してその重複説明を省略する。

この第 4 の実施の形態に係る表示装置 D d は、図 2 2 に示すように、第 2 の実施の形態に係る表示装置 D b とほぼ同じ構成を有するが、前記画素構成体 1 0 2 の周縁部に段差 1 1 2 が形成されている点で異なる。

この第 4 の実施の形態に係る表示装置 D d によれば、画素構成体 1 0 2 の周縁部に段差 1 1 2 を設けることで、画素構成体 1 0 2 が光導波板 1 2 に接触する部分の面積を全画素において一定にすることができ、全画素にわたって均一な輝度を得ることができる。また、段差 1 1 2 の存在によって、画素構成体 1 0 2 と光導波板 1 2 との密着性が緩和されるため、光導波板 1 2 への画素構成体 1 0 2 の貼り付きを防止することができ、応答速度の高速化を有効に図ることができる。

次に、第 5 の実施の形態に係る表示装置 D e について図 2 3 を参照しながら説明する。なお、図 1 9 と対応するものについては同符号を付してその重複説明を省略する。

この第 5 の実施の形態に係る表示装置 D e は、図 2 3 に示すように、第 2 の実施の形態に係る表示装置 D b とほぼ同じ構成を有するが、画素構成体 1 0 2 の表面が凹形状 1 1 4 にされている点で異なる。

アクチュエータ部 1 4 が変位する際、画素構成体 1 0 2 の中央部分が最も変位量が大きい傾向をもつ。そのため、画素構成体 1 0 2 の表面を凹形状 1 1 4 にして該画素構成体 1 0 2 の中央部分を例えば前記変位量に相当する深さだけ凹ませることで、アクチュエータ部 1 4 が変位して画素構成体 1 0 2 が光導波板 1 2 に接触する際に、画素構成体 1 0 2 の表面が平坦に近くなり、画素構成体 1 0 2 の光導波板 1 2 に対する接触面積を大きくすることができる。

この場合、凹形状 1 1 4 の湾曲の深さを大きくすると、画素構成体 1 0 2 が光導波板 1 2 に接触した際に、画素構成体 1 0 2 の中央部分が光導波板 1 2 に着かない状態となり、擬似的に画素構成体 1 0 2 の表面に凹部が形成された状態となる。そのため

、画素構成体102と光導波板12との密着性が緩和され、画素構成体102の光導波板12からの離反がスムーズに行われることになる。その結果、光導波板12への画素構成体102の貼り付きを防止することができ、応答速度の高速化を有効に図ることができる。

そして、第3の実施の形態に係る表示装置Dcの構成（画素構成体102の表面に凹部110を形成する構成）と、第4の実施の形態に係る表示装置Ddの構成（画素構成体102の表面に段差112を形成する構成）並びに第5の実施の形態に係る表示装置Deの構成（画素構成体102の表面を凹形状114にする構成）をそれぞれ単独で実現させるようにしてもよいし、任意に組み合わせるようにしてもよい。組み合わせることで、それぞれの構成による相乗効果を得ることができる。図24は、第3～第5の実施の形態に係る表示装置Dc～Deの構成をすべて組み合わせた第6の実施の形態に係る表示装置Dfの例を示す。

ところで、第1～第6の実施の形態に係る表示装置Da～Dfは、単一で利用できるほか、図25に示すように、これらの実施の形態に係る表示装置Da～Dfを大画面表示装置250の1つの表示素子252とすることも可能である。この図25の例では、大画面の表示面積を有する導光板254の背面に、表示素子252を縦方向に7個、横方向に18個配列させた例を示す。この場合、導光板254は、ガラス板やアクリル板等の可視光領域での光透過率が大であって均一なものが使用され、各表示素子252間は、ワイヤボンディングや半田付け、端面コネクタ、裏面コネクタ等で接続することにより相互間の信号供給が行えるようになっている。

また、図25に示す大画面表示装置250においては、各表示素子252に適用される表示装置として第1～第6の実施の形態に係る表示装置Da～Dfを使用し、その画素の並びを水平方向に32個、垂直方向に32個としたものを用いている。これらの実施の形態に係る表示装置Da～Dfにおいて、各行に関する画素の並びを千鳥状とした場合、画素の水平方向の配列ピッチを非常に小さくすることができ、水平方向及び垂直方向の画素の配列数を同一にした場合、全体的な平面形状は、縦長形状となる。

図25に示す大画面表示装置250においては、大型の導光板254の板面に、光導波板12を含む表示素子252をマトリクス状に配置した例を示したが、その他、

大型の導光板 254 を省略して、光導波板 12 を含む表示素子 252 をマトリクス状に配置したもので大画面表示装置 250 を構成するようにしてもよい。この場合、マトリクス状に配された多数の光導波板 12 が前記大型の導光板 254 を兼用することになる。前記構成のほか、大型の導光板 254 の板面に、光導波板 12 を含まない表示素子 252 をマトリクス状に配置して前記大画面表示装置 250 を構成するようにしてもよい。

前記導光板 254 と光導波板 12 は屈折率が類似したものが好ましく、導光板 254 と光導波板 12 とを貼り合わせる場合には、透明な接着剤を用いてもよい。この接着剤は、光導波板 12 や導光板 254 と同様に、可視光領域で均一で、高い透過率を有することが好ましく、また、屈折率も導光板 254 や光導波板 12 と近いものに設定することが画面の明るさを確保する上で望ましい。

次に、第 1 ～ 第 6 の実施の形態に係る表示装置 D a ～ D f の製造方法について図 26 A ～ 図 26 B を参照しながら説明する。

まず、第 1 の製造方法は、図 26 A に示すように、アクチュエータ基板 18 の一主面のうち、アクチュエータ部 14 が形成されていない部分に栈 70 を例えば膜形成法にて形成する。栈 70 の材質としては、特に限定されないが、硬化後の硬さが硬いものを用いることが好ましい。例えば樹脂であれば、熱硬化性樹脂（一液性、二液性エポキシ樹脂など）が好ましい。栈の厚みとしては 50 ～ 100 μm 程度である。

ここで、膜形成法としては、例えばスクリーン印刷法、フォトリソグラフィ法、フィルム貼着法などがある。

フォトリソグラフィ法は、例えば図 27 A ～ 図 27 C に示すように、栈 70 となる膜 120 を露光現像して栈 70 を形成する第 1 の方法と、図 28 A ～ 図 28 C に示すように、マスク 122 の開口 122 a に栈 70 となる材料 124 を埋め込んで栈 70 を形成する第 2 の方法とがある。

第 1 の方法は、例えば以下のような手順によって行われる。まず、図 27 A に示すように、アクチュエータ基板 18 上の全面に栈 70 となる膜 120 を均等に塗布した後、図 27 B に示すように、栈 70 を形成すべき部分に開口を有するマスク 130 を介して栈 70 となる膜 120 を選択的に露光する。その後、図 27 C に示すように、栈 70 となる膜 120 に対して現像を行う。この現像によって栈 70 となる膜 120

のうち、露光された部分が栈70として残存し、露光されていない部分が溶融されて除去されることになる。

栈70を構成する膜を塗布する方法としては、印刷による塗布、スピナーによる塗布、DIP（浸漬法）、ロールコート、ガラス押さえ等を用いることができる。また、フォトリソと同様の機能を有する感光性フィルムを適用することもできる。

一方、第2の方法は、以下のような手順で行われる。まず、図28Aに示すように、フォトリソ材料の塗布、露光及び現像を施してアクチュエータ基板18上にフォトリソによるマスク122を形成する。このマスク122は、栈70を形成すべき部分に開口122aを有する。

その後、図28Bに示すように、マスク122の開口122a内に栈70となる材料124を埋め込んだ後、図28Cに示すように、マスク122を除去することにより、アクチュエータ基板18上に栈70が形成されることになる。

前記第1の方法（塗布方法）は、感光が条件となるため、栈70を構成する膜120に対する材料の選択性が低くなるが、第2の方法（埋込み方法）は、感光等を考慮しなくてもよいため、栈70を構成する膜120に対する材料の選択性の自由度が向上する。

フィルム貼付法は、図29に示すように、予めフィルム（栈となる材料で形成されたフィルム：ドライフィルム等）に対して切断あるいは打ち抜き等を行って栈70を作製した後、栈70をアクチュエータ基板18に例えば接着剤132を介して貼り付ける方法である。栈の貼り付けの際には、例えば真空包装法、ラミネートプレス法などが用いられる。

セラミックス焼結法は、例えばアクチュエータ基板18上に1層目の栈70となる部分を例えば膜形成法で形成した後、焼成してアクチュエータ基板18と1層目の栈70を一体化させておく方法である。

第1の製造方法の説明に戻り、図26Bに示すように、アクチュエータ基板18の各アクチュエータ部14上にそれぞれ画素構成体102を例えば膜形成法によって形成する。膜形成法は、図27A～図29に示すような各種方法を採用することができる。

そして、図26Cに示すように、アクチュエータ基板18上の栈70及び画素構成

体102を硬化させる前に、光導波板12をアクチュエータ基板18上の棧70及び画素構成体102に押し当てて、光導波板12とアクチュエータ基板18とを互いに接近する方向に加圧した後、その状態で棧70と画素構成体102を硬化させて完成に至る。

この第1の製造方法では、少なくとも画素構成体102が硬化していない状態でアクチュエータ基板18と光導波板12とを加圧するため、加圧の際に、光導波板12が棧70と画素構成体102とをアクチュエータ基板18側に押し付けるかたちになり、予め形成された棧70がスペーサとなって画素構成体102の厚みが規定される。その結果、少なくとも画素構成体102を硬化させた際に棧70の上面と画素構成体102の上面とがほぼ同一面となる。

この場合、画素構成体102の構成材料として、画素構成体102の硬化時に該画素構成体102が収縮する材料を用いることで、棧70と画素構成体102との硬化時に画素構成体102と光導波板12との間に一定のギャップ g を形成させることができる。

また、ギャップ g を形成するための別の方法としては、例えば、光導波板12を貼り付け加圧する際に、画素構成体102を加熱して膨張させたり、アクチュエータ部14を変位させて画素構成体102を光導波板12に接触させるようにしておけばよい。その後の棧70と画素構成体102の硬化時に、画素構成体102が収縮してあるいはアクチュエータ部14の変位リセット（復元）によって画素構成体102と光導波板12との間に一定のギャップ g が形成されることになる。

その他、自然状態で画素構成体102が光導波板12に接触する形態とした場合は、例えば図7に示すように、アクチュエータ部14の変位動作として、画素構成体102が光導波板12から離反する方向に変位する場合に適用させることができる。

アクチュエータ基板18と光導波板12との加圧の方法としては、分銅による荷重、真空包装法、CIP法（静水圧負荷法）、フリップチップボンダによる荷重、定値制御や低圧プレス法などの各種荷重法がある。

この中で、真空包装法は、図30に示すように、アクチュエータ基板18に光導波板12を押し当てたものを真空包装袋140内に入れて袋140内を真空引きすることにより、アクチュエータ基板18と光導波板12とを互に加圧させる方法である。

。この場合、気泡の発生を抑制するために、接着剤や画素構成体に消泡剤を加えたり、硬化前に脱泡処理を施しておくといよい。

図30に示す真空包装法やCIP法は、アクチュエータ基板18に反りやうねりがあった場合であっても、アクチュエータ基板18と光導波板12とを均等に加圧することができ、これによって、光導波板12とアクチュエータ基板18とが互いにならない合うことになるため、すべての画素構成体102と光導波板12との間に一定のギャップgを形成することができる。なお、真空包装法とCIP法とを組み合わせるようにしてもよい。

低圧プレス法は、図31に示すように、アクチュエータ基板18に光導波板12を押し当てたものを下型142と上型144との間に入れ、低圧でプレスする方法である。この場合、アクチュエータ基板18に加わる応力が小さくなるため、アクチュエータ部14への損傷等を防止することができる。

フリップチップボンダによる荷重を用いた方法は、位置制御、加圧制御、加熱が可能であるため、好ましく用いられる。

次に、第2の製造方法について図32A～図32Dを参照しながら説明する。この第2の製造方法は、光導波板12に画素構成体102と棧70を形成して、アクチュエータ基板18を貼り付け加圧する方法である。

まず、図32Aに示すように、光導波板12のうち、多数の画素に対応した箇所以外の箇所に複数の棧70を例えば膜形成法により形成した後、図32Bに示すように、光導波板12のうち、多数の画素に対応した箇所に画素構成体102を例えば膜形成法により形成する。

そして、図32Cに示すように、予め画素に対応する箇所にアクチュエータ部14が形成されたアクチュエータ基板18の一主面のうち、棧70に対応する位置とアクチュエータ部14の上面に接着剤150を塗布する。

その後、光導波板12上の棧70及び画素構成体102を硬化させる前に、アクチュエータ基板18の一主面側を光導波板12上の棧70及び画素構成体102に押し当てて、光導波板12とアクチュエータ基板18とを互いに接近する方向に加圧した後、図32Dに示すように、その状態で棧70と画素構成体102並びに接着剤150を硬化させて完成に至る。

この第2の製造方法によれば、直接光導波板12に画素構成体102を形成するため、画素の面積（光導波板12への接触面積）を規定しやすいという利点があり、全画素にわたって均一な輝度を得ることが容易になる。

この場合も、アクチュエータ部14が自然状態であるときに画素構成体102が光導波板12に接触する形態となる場合においては、図7に示すように、アクチュエータ部14の変位動作として、画素構成体102が光導波板12から離反する方向に変位する場合に適用させることができる。

また、光導波板12を貼り付け加圧する際に、画素構成体102を加熱して膨張させたり、アクチュエータ部14を変位させて画素構成体102を光導波板12に接触させるようにしておけば、栈70と画素構成体102との硬化時に画素構成体102と光導波板12との間に一定のギャップ g を形成させることができる。

次に、第3の製造方法について図33A～図33Cを参照しながら説明する。この第3の製造方法は、画素構成体102と栈70が形成されたアクチュエータ基板18に一旦板材200を貼り付けて、画素構成体102と栈70の各上面をほぼ同一面にした後に、板材200を除去して、光導波板12を貼り付けるというものである。

まず、図33Aに示すように、アクチュエータ基板18の一主面のうち、アクチュエータ部14が形成されていない部分に栈70を例えば膜形成法にて形成する。

その後、図33Bに示すように、アクチュエータ基板18の各アクチュエータ部14上に画素構成体102を例えば膜形成法によって形成する。

その後、図33Cに示すように、アクチュエータ基板18上の栈70及び画素構成体102を硬化させる前に、板材200をアクチュエータ基板18上の栈70及び画素構成体102に押し当てて、板材200とアクチュエータ基板18とを互いに接近する方向に加圧した後、その状態で栈70と画素構成体102を硬化させる。

板材200としては、ガラス、セラミックス、金属等が用いられる。中でもガラスが特に好ましく用いられる。高い表面平滑性と適度な剛性を持つ板材が容易に入手できるからである。

板材の表面平滑性は、画素の輝度向上に役立つので、 $Ra < 0.1 \mu m$ が好ましく、特に $Ra < 0.01 \mu m$ が好ましく用いられる。

また、板材の剛性は、加圧工程にて塑性変形せず、弾性変形によりアクチュエ

ータ基板の反りにならうように設定する。例えば、板材としてガラスを用い、加圧方法として真空包装法を適用した場合は、板材の厚みはアクチュエータ基板の厚みの0.5～10倍程度が好ましい。特に好ましくは、1～5倍である。

一方、加圧法として、低圧プレス法を用いる場合は、板材の変形量が少ない法が好ましいので、剛性と取り扱いの容易性の観点で厚い方が好ましい。

板材200とアクチュエータ基板18との加圧の方法としては、上述したように、分銅による荷重、真空包装法、CIP（静水圧負荷法）、フリップチップボンダによる荷重、定値制御や低圧プレス法などの各種荷重法を使用することができる。

アクチュエータ基板18に板材200を貼り付け加圧した際に、アクチュエータ基板18に形成しておいた棧70がスペーサとなってアクチュエータ基板18と板材200との間の距離が規定される。加圧後に、あるいは加圧した状態で棧70と画素構成体102を硬化させるようにしているため、この規定された距離はアクチュエータ基板18と光導波板12との間の距離に相当することになる。

この場合、画素構成体102の構成材料として、画素構成体102の硬化時に該画素構成体102が収縮する材料を用いることで、棧70と画素構成体102との硬化時に画素構成体102と板材200との間に一定のギャップ g を形成させることができる。これは、画素構成体102と光導波板12との間に一定のギャップ g が形成されることと等価である。

また、画素構成体102の硬化時に該画素構成体102が収縮する材料を用いない場合において、棧70と画素構成体102との硬化時に画素構成体102と板材200との間にギャップ g を形成させるようにする場合は、例えば、板材200を貼り付け加圧する際に、画素構成体102を加熱して膨張させたり、アクチュエータ部14を変位させて画素構成体102を板材200に接触させるようにしておけばよい。その後の棧70と画素構成体102の硬化時に、画素構成体102が収縮してあるいはアクチュエータ部14の変位リセット（復元）によって画素構成体102と板材200との間に一定のギャップ g が形成されることになる。

その他、自然状態で画素構成体102が光導波板12に接触する形態とした場合は、例えば図7に示すように、アクチュエータ部14の変位動作として、画素構成体102が光導波板12から離反する方向に変位する場合に適用させることができる。

そして、板材200として平滑なものを用いた場合は、画素構成体102の表面に板材200と同等の平滑な面が形成される。この優れた平滑性は画素発光時の輝度向上に役立つ。

図34に示すように、板材200として、画素構成体102に対応する箇所それぞれ複数の凸部202を有するものを使用すれば、板材200とアクチュエータ基板18との加圧時に、画素構成体102の表面に前記凸部202に応じた凹部110が形成されることになり、図21に示す第3の実施の形態に係る表示装置Dcを作製することが可能となる。

また、図35に示すように、板材200として、画素構成体102の周縁部に対応する箇所にそれぞれ凸部204を有するものを使用すれば、板材200とアクチュエータ基板18との加圧時に、画素構成体102の周縁部に前記凸部204に応じた段差112が形成されることになり、図22に示す第4の実施の形態に係る表示装置Ddを作製することが可能となる。

また、図36に示すように、板材200として、画素構成体102に対応する箇所にそれぞれ凸形状206が形成されたものを使用すれば、板材200とアクチュエータ基板18との加圧時に、画素構成体102の表面に前記凸形状206に応じた凹形状114が形成されることになり、図23に示す第5の実施の形態に係る表示装置Deを作製することが可能となる。

また、図37に示すように、板材200として、棧70に対応する箇所にそれぞれ複数の凸部208を有するものを使用すれば、板材200とアクチュエータ基板18との加圧時に、画素構成体102の上端が棧70の上端よりも高く形成されることになる。この場合、自然状態でオン状態を示す例えば図7のような表示装置Daにおいて、画素構成体102の光導波板12への接触がより完全となる。もちろん、図7の表示装置Daにおいて、ギャップ形成層50のないものにも好ましく適用させることができる。

その他の効果として、ギャップ形成層50を厚く形成することが可能となるため、ギャップ形成層50が光吸収層として機能する場合、コントラスト等の画質向上を図る上で有効となり、また、ギャップ形成層50に対する材料選択の幅も広がる。もちろん、自然状態で画素構成体102が光導波板12から離反するタイプの表示装置に

も適用させることができる。

一方、板材200として、棧70に対応する箇所それぞれ複数の凹部を有するものを利用すれば、板材200とアクチュエータ基板18との加圧時に画素構成体102の上端が棧70の上端よりも低く形成されることになる。この場合、ギャップ形成層50を有しない形態でも、精密なギャップgを形成することができる。

図34～図37に示す板材200の凸部202等については、後述する第4の製造方法以降についても同様に言える。

その後、図38Aに示すように、前記板材200を除去した後、アクチュエータ基板18上の棧70の上面に接着剤210を例えば膜形成法によって塗布する。

接着剤は、光散乱を抑制することが必要であるため、光吸収性の高いものとすることが好ましい。例えば、カーボンブラック、黒顔料、黒染料を添加した接着剤を用いるとよい。

そして、図38Bに示すように、接着剤210を硬化させる前に、光導波板12をアクチュエータ基板18上の棧70に押し当てて、光導波板12とアクチュエータ基板18とを互いに接近する方向に加圧した後、その状態で接着剤210を硬化させて完成に至る。

光導波板12とアクチュエータ基板18との加圧の方法としては、上述したように、分銅による荷重、真空包装法、CIP（静水圧負荷法）、フリップチップボンダによる荷重、定値制御や低圧プレス法などの各種荷重法を使用することが好ましい。

画素構成体102の表面に凹部110や段差112を形成したり、画素構成体102の表面を凹形状114にする方法としては、上述したように、表面に凸部202、204及び206を有する板材200を用いることが好ましい。これには、ガラスで構成された板材200に一般の薄膜形成法により金属膜やレジスト膜を形成する方法が好ましく用いられる。凸部202、204及び206のパターンや高さを自由に變更できる利点がある。凸部202、204及び206の高さは、0.1～2μm程度が好ましい。

このうち、画素構成体102の表面に凹部110や段差112を形成する方法としては、その他、画素構成体102の表面に対する平面研磨やレーザによる表面加工を用いることもできる。レーザ加工は、凹部110や段差112を形成するだけでなく

、加熱による表面改質の効果もあり、しかも、加工パターンを任意に設計できることから特に好ましく用いられる。

一方、画素構成体102の表面を凹形状114にする方法としては、上述の方法のほかに、画素構成体102の硬化時にアクチュエータ部14に電圧を印加しておく方法や加熱する方法がある。板材200で面出し硬化中に加熱する方法と、板材200の除去後に加熱する方法とがあり、画素構成体102の材質により選択できる。加熱温度は15℃～150℃が用いられ、特に20℃～80℃が好ましく用いられる。

次に、第4の製造方法について図39A～図39Dを参照しながら説明する。この第4の製造方法は、板材200に画素構成体102と棧70を形成し、それぞれ硬化させた後に、アクチュエータ基板18を貼り付け、その後、板材200を除去して、光導波板12を貼り付けるというものである。

まず、図39Aに示すように、板材200のうち、多数の画素に対応した箇所以外の箇所に棧70を例えば膜形成法により形成した後、棧70を硬化させる。次いで、図39Bに示すように、板材200のうち、多数の画素に対応した箇所に画素構成体102を例えば膜形成法により形成した後、画素構成体102を硬化させる。

その後、図39Cに示すように、予め画素に対応する箇所にアクチュエータ部14が形成されたアクチュエータ基板18の一主面のうち、棧70に対応する位置とアクチュエータ部14の上面に接着剤212を塗布する。

その後、前記接着剤212を硬化させる前に、アクチュエータ基板18の一主面側を板材200上の棧70及び画素構成体102に押し当てて、板材200とアクチュエータ基板18とを互いに接近する方向に加圧した後、その状態で接着剤212を硬化させる。

その後、図39Dに示すように板材200を除去する。この時点で、板材200に形成されていた棧70と画素構成体102がアクチュエータ基板18に転写されたかたちとなる。従って、図39Aに示すように、板材200に棧70及び画素構成体102を形成する前に、板材200に例えば離型剤を塗布しておくことが好ましい。画素構成体102と棧70をスムーズにアクチュエータ基板18に転写させることができるからである。

その後、図38Aに示すように、アクチュエータ基板18上の棧70の上面に接着

剤 210 を例えば膜形成法によって塗布する。

そして、図 38B に示すように、前記接着剤 210 が硬化する前に、光導波板 12 をアクチュエータ基板 18 上の棧 70 に押し当てて、光導波板 12 とアクチュエータ基板 18 とを互いに接近する方向に加圧した後、その状態で接着剤 210 を硬化させて完成に至る。

図 38A 及び図 38B の例では、棧 70 の上面に直接光導波板 12 を貼り付けた場合を示したが、その他、図 40A 及び図 40B に示す方法も採用することができる。

即ち、図 40A に示すように、アクチュエータ基板 18 上の棧 70 の上面に接着剤 210 を例えば膜形成法によって塗布する。

そして、図 40B に示すように、光導波板 12 のうち、棧に対応する部分に、予めギャップ形成層 50 を例えば膜形成法によって形成しておき、前記接着剤 210 を硬化させる前に、光導波板 12 をアクチュエータ基板 18 上の棧 70 に押し当てて（ギャップ形成層 50 と棧 70 とを押し当てる）、光導波板 12 とアクチュエータ基板 18 とを互いに接近する方向に加圧した後、その状態で接着剤 210 を硬化させて完成に至る。

図 40A 及び図 40B に示すように、ギャップ形成層 50 を設けた場合においては、画素構成体 102 と光導波板 12 との間のギャップ g を全画素にわたって均一にすることが更に容易になり、前記ギャップ g の大きさも容易に制御することが可能となる。

次に、第 5 の製造方法について図 41A～図 41C を参照しながら説明する。この第 5 の製造方法は、光導波板 12 に画素構成体 102 を形成し、アクチュエータ基板 18 に棧 70 を形成し、その後、これら光導波板 12 とアクチュエータ基板 18 を貼り合わせ加圧するというものである。

まず、図 41A に示すように、光導波板 12 のうち、多数の画素に対応した箇所に画素構成体 102 を例えば膜形成法により形成した後、図 41B に示すように、アクチュエータ基板 18 の一主面のうち、アクチュエータ部 14 が形成されていない部分に棧 70 を例えば膜形成法にて形成する。その後、アクチュエータ基板 18 上の棧 70 の上面に接着剤 210 を例えば膜形成法によって塗布する。

そして、図 41C に示すように、接着剤 210 を硬化させる前に、アクチュエータ

基板 18 の前記棧 70 が形成された面と光導波板 12 の前記画素構成体 102 が形成された面とを貼り合わせて、光導波板 12 とアクチュエータ基板 18 とを互いに接近する方向に加圧した後、その状態で接着剤 210 を硬化させて完成に至る。

この第 5 の製造方法においては、画素構成体 102 の形成と棧 70 の形成とをそれぞれ独立した工程で行うことができるため、画素構成体 102 と棧 70 に関し、これらの材料選定の幅が広がり、製造コストや工数を低減させることができる。また、平坦度の高い光導波板 12 上に画素構成体 102 を形成するようにしているため、画素構成体 102 の大きさを揃えることが可能となる。

次に、第 6 の製造方法について図 42A～図 42C を参照しながら説明する。この第 6 の製造方法は、光導波板 12 に棧 70 を形成し、アクチュエータ基板 18 に画素構成体 102 を形成し、その後、これら光導波板 12 とアクチュエータ基板 18 を貼り合わせ加圧するというものである。

まず、図 42A に示すように、光導波板 12 のうち、多数の画素に対応した箇所以外の箇所に複数の棧 70 を例えば膜形成法により形成した後、図 42B に示すように、アクチュエータ基板 18 の一主面のうち、アクチュエータ部 14 上に画素構成体 102 を例えば膜形成法にて形成する。その後、光導波板 12 上の棧 70 の上面に接着剤 212 を例えば膜形成法によって塗布する。又は、アクチュエータ基板 18 の一主面のうち、アクチュエータ部 14 のない部分に接着剤 212 を例えば膜形成法によって形成する。

その後、図 42C に示すように、接着剤 212 を硬化させる前に、アクチュエータ基板 18 の前記画素構成体 102 が形成された面と光導波板 12 の前記棧 70 が形成された面とを貼り合わせて光導波板 12 とアクチュエータ基板 18 とを互いに接近する方向に加圧した後、その状態で接着剤 210 を硬化させて完成に至る。

この第 6 の製造方法においても、画素構成体 102 の形成と棧 70 の形成とをそれぞれ独立した工程で行うことができるため、画素構成体 102 と棧 70 に関し、これらの材料選定の幅が広がり、製造コストや工数を低減させることができる。また、平坦度の高い光導波板 12 上に棧 70 を形成するようにしているため、棧 70 の高さを厳密に揃えることが可能となる。しかも、画素構成体 102 の形成において、障害物（棧 70 など）が存在しないため、画素構成体 102 を精度よく形成することができ

る。

次に、第7の製造方法について図43A及び図43Bを参照しながら説明する。この第7の製造方法は、予め栈70が一体に設けられたアクチュエータ基板18に画素構成体102を形成し、その後、光導波板12を貼り付け加圧するというものである。

まず、図43Aに示すように、アクチュエータ部14以外の箇所に複数の栈70を一体に有するアクチュエータ基板18の各アクチュエータ部14上に画素構成体102を形成する。その後、アクチュエータ基板18の栈70の上面に接着剤210を例えば膜形成法によって塗布する。

そして、図43Bに示すように、アクチュエータ基板18上の栈70及び画素構成体102を硬化させる前に、光導波板12をアクチュエータ基板18上の栈70及び画素構成体102に押し当てて、光導波板12とアクチュエータ基板18とを互いに接近する方向に加圧した後、その状態で栈70と画素構成体102を硬化させて完成に至る。

この第7の製造方法においては、アクチュエータ基板18として、予め栈70を一体に有するアクチュエータ基板18を用いるようにしているため、栈70の部分の機械的強度が高く、これに伴って、アクチュエータ基板18の剛性が高くなる。その結果、例えばアクチュエータ基板18を持ち運ぶ際や保管時において、該アクチュエータ基板18に形成されたアクチュエータ部14、特に振動部22を前記栈70で保護することができる。また、栈70を別体で形成する場合と比して、栈70を硬化させる工程を省くことができ、工数の削減を図ることができる。

次に、第8の製造方法について図44A～図45Bを参照しながら説明する。この第8の製造方法は、アクチュエータ基板18に栈70を形成し、板材200に画素構成体102を形成し、これらアクチュエータ基板18と板材200を貼り合わせ加圧した後、板材200を除去して、光導波板12を貼り付け加圧するというものである。

まず、図44Aに示すように、板材200のうち、多数の画素に対応した箇所に画素構成体102を形成した後、図44Bに示すように、アクチュエータ基板18のうち、前記アクチュエータ部14以外の箇所に複数の栈70を形成する。

次いで、図44Cに示すように、アクチュエータ基板18上の棧70及び画素構成体102を硬化させる前に、アクチュエータ基板18の前記棧70が形成された面と板材200の前記画素構成体102が形成された面とを貼り合わせて、板材200とアクチュエータ基板18とを互いに接近する方向に加圧した後、その状態で棧70と画素構成体102を硬化させる。

その後、図45Aに示すように、前記板材200を除去して画素構成体102をアクチュエータ基板18に転写させた後、アクチュエータ基板18上の棧70の上面に接着剤210を例えば膜形成法によって塗布する。

そして、図45Bに示すように、接着剤210を硬化させる前に、光導波板12をアクチュエータ基板18上の棧70に押し当てて、光導波板12とアクチュエータ基板18とを互いに接近する方向に加圧した後、その状態で接着剤210を硬化させて完成に至る。

この場合、画素構成体102の形成と棧70の形成とをそれぞれ独立した工程で行うことができるため、画素構成体102と棧70に関し、これらの材料選定の幅が広がり、製造コストや工数を低減させることができる。また、平坦度の高い板材200上に画素構成体102を形成するようにしているため、画素構成体102の大きさを揃えることが可能となる。

次に、第9の製造方法について図46A～図47Bを参照しながら説明する。この第9の製造方法は、アクチュエータ基板18に画素構成体102を形成し、板材200に棧70を形成し、これらアクチュエータ基板18と板材200を貼り合わせ加圧した後、板材200を除去して、光導波板12を貼り付け加圧するというものである。

まず、図46Aに示すように、板材200のうち、多数の画素に対応した箇所以外の箇所に棧70を形成した後、図46Bに示すように、アクチュエータ基板18の各アクチュエータ部14上に画素構成体102を形成する。その後、板材200に形成された棧70の下面に接着剤212を例えば膜形成法によって塗布する。接着剤212は棧70の上面ではなく、アクチュエータ基板18のアクチュエータ部14以外のところに塗布してもよい。

次いで、図46Cに示すように、アクチュエータ基板18上の画素構成体102を

硬化させる前に、アクチュエータ基板 18 の前記画素構成体 102 が形成された面と板材 200 の前記棧 70 が形成された面とを貼り合わせて、板材 200 とアクチュエータ基板 18 とを互いに接近する方向に加圧した後、その状態で画素構成体 102 を硬化させる。

その後、図 47 A に示すように、前記板材 200 を除去して棧 70 をアクチュエータ基板 18 に転写させた後、アクチュエータ基板 18 上の棧 70 の上面に接着剤 210 を例えば膜形成法によって塗布する。

そして、図 47 B に示すように、接着剤 210 を硬化させる前に、光導波板 12 をアクチュエータ基板 18 上の棧 70 に押し当てて、光導波板 12 とアクチュエータ基板 18 とを互いに接近する方向に加圧した後、その状態で接着剤 210 を硬化させて完成に至る。

この場合も、画素構成体 102 の形成と棧 70 の形成とをそれぞれ独立した工程で行うことができるため、画素構成体 102 と棧 70 に関し、これらの材料選定の幅が広がり、製造コストや工数を低減させることができる。また、平坦度の高い板材 200 上に棧 70 を形成するようにしているため、棧 70 の高さを厳密に揃えることが可能となる。しかも、画素構成体 102 の形成において、障害物（棧 70 など）が存在しないため、画素構成体 102 を精度よく形成することができる。

特に、この第 9 の製造方法は、図 13 に示すように、ストライプ状の開口 220 を有する棧 70 や、図 14 に示すように、ライン状の棧 70 を形成する場合に好適に使用される。即ち、フィルムを打抜き加工してストライプ状の開口 220 を形成したり、フィルムを細かく切断してライン状にする。

その後、図 48 に示すように、フィルムからなる棧 70 を板材 200 に対して液体（例えば水）の表面張力を利用して貼り合わせる。これ以降は、図 46 A に示す工程に続くことになる。この場合、板材 200 に対して棧 70 が液体の表面張力のみで引っ付いているだけであるため、その後の板材 200 の除去を簡単に行うことができる。

次に、第 10 の製造方法について図 49 A ～図 50 B を参照しながら説明する。この第 10 の製造方法は、アクチュエータ基板 18 に画素構成体 102 を形成した後、板部材 230 に多数の寸法規定部材 232 が設けられた治具 234 と前記アクチュエ

一タ基板18を貼り合わせ加圧することによって画素構成体102の寸法を規定し、その後、治具234を取り外して、アクチュエータ基板18に栈70を形成した後、光導波板12を貼り付け加圧するというものである。

まず、図49Aに示すように、アクチュエータ基板18の各アクチュエータ部14上に画素構成体102を形成する。

その後、図49Bに示すように、板部材230の一方の面に、前記アクチュエータ基板18に形成されるべき栈70と高さがほぼ同じとされた寸法規定部材232が多数形成された治具234を用い、該治具234の寸法規定部材232が形成された面とアクチュエータ基板18の前記画素構成体102が形成された面とを貼り合わせて、治具234とアクチュエータ基板18とを互いに接近する方向に加圧した後、その状態で画素構成体102を硬化させる。

次いで、図49Cに示すように、前記治具234を取り外した後、図50Aに示すように、アクチュエータ基板18のうち、アクチュエータ部14以外の箇所に複数の栈70を形成する。その後、アクチュエータ基板18上の栈70の上面に接着剤210を例えば膜形成法によって塗布する。

そして、図50Bに示すように、接着剤210を硬化させる前に、光導波板12をアクチュエータ基板18上の栈70に押し当てて、光導波板12とアクチュエータ基板18とを互いに接近する方向に加圧した後、その状態で接着剤210を硬化させて完成に至る。

この第10の製造方法においては、前記治具234を例えば金属などの剛性のある部材で構成すれば、画素構成体102が形成されたアクチュエータ基板18のうねりを当該治具234とアクチュエータ基板18との貼り合わせ加圧によって低減させることができ、その後の栈70の形成工程において、高精度に栈70を形成することができる。

次に、第11の製造方法について図51A～図52Bを参照しながら説明する。この第11の製造方法は、アクチュエータ基板18に画素構成体102を形成した後、板部材230に多数の寸法規定部材232が設けられた治具234と前記アクチュエータ基板18を貼り合わせ加圧することによって画素構成体102の寸法を規定し、治具234を取り外した後、光導波板12に栈70を形成して、該光導波板12とア

クチュエータ基板 18 とを貼り合わせるというものである。

まず、図 5 1 A に示すように、アクチュエータ基板 18 の各アクチュエータ部 14 上に画素構成体 102 を形成する。

その後、図 5 1 B に示すように、板部材 230 の一方の面に、前記アクチュエータ基板 18 に形成されるべき棧 70 と高さがほぼ同じとされた寸法規定部材 232 が多数形成された治具 234 を用い、該治具 234 の寸法規定部材 232 が形成された面とアクチュエータ基板 18 の前記画素構成体 102 が形成された面とを貼り合わせて、治具 234 とアクチュエータ基板 18 とを互いに接近する方向に加圧した後、その状態で画素構成体 102 を硬化させる。

次いで、図 5 1 C に示すように、前記治具 234 を取り外した後、図 5 2 A に示すように、光導波板 12 のうち、多数の画素に対応した箇所以外の箇所に棧 70 を形成した後、板材上の棧 70 の下面に接着剤 212 を例えば膜形成法によって塗布する。

そして、図 5 2 B に示すように、接着剤 212 を硬化させる前に、アクチュエータ基板 18 の前記画素構成体 102 が形成された面と光導波板 12 の前記棧 70 が形成された面とを貼り合わせて、光導波板 12 とアクチュエータ基板 18 とを互いに接近する方向に加圧した後、その状態で接着剤 212 を硬化させて完成に至る。

この第 11 の製造方法においても、治具 234 を例えば金属などの剛性のある部材で構成すれば、画素構成体 102 が形成されたアクチュエータ基板 18 のうねりを当該治具 234 とアクチュエータ基板 18 との貼り合わせ加圧によって低減させることができ、その後の光導波板 12 との貼り合わせを高精度に行うことができる。

前記光導波板 12 にギャップ形成層 50 があってもよい。この場合、棧 70 の高さ寸法規定部材 232 の高さの差を調節することによってギャップ量を容易に調整することが可能となる。

次に、第 12 の製造方法について図 5 3 A ～ 図 5 4 B を参照しながら説明する。この第 12 の製造方法は、アクチュエータ基板 18 に画素構成体 102 を形成し、板部材 230 に多数の寸法規定部材 232 が設けられた治具 234 に棧 70 を形成し、これらアクチュエータ基板 18 と治具 234 とを貼り合わせ加圧することによって棧 70 と画素構成体 102 の寸法を規定し、その後、治具 234 を取り外して、アクチュエータ基板 18 に棧 70 を転写させた後、光導波板 12 を貼り付けるというものである。

る。

まず、図5 3 Aに示すように、前記治具2 3 4の寸法規定部材2 3 2が形成された面のうち、寸法規定部材2 3 2が形成されていない部分であって、かつ、多数の画素に対応した箇所以外の箇所に複数の栈7 0を形成する。その後、治具2 3 4に形成された栈7 0の下面に接着剤2 1 2を例えば膜形成法によって塗布する。

また、アクチュエータ基板1 8の各アクチュエータ部1 4上に画素構成体1 0 2を形成する。

次いで、図5 3 Bに示すように、アクチュエータ基板1 8上の画素構成体1 0 2を硬化させる前に、アクチュエータ基板1 8の前記画素構成体1 0 2が形成された面と治具2 3 4の前記栈7 0が形成された面とを貼り合わせて、治具2 3 4とアクチュエータ基板1 8とを互いに接近する方向に加圧した後、その状態で画素構成体1 0 2を硬化させる。

その後、図5 3 Cに示すように、前記治具2 3 4を除去して栈7 0をアクチュエータ基板に転写させた後、図5 4 Aに示すように、アクチュエータ基板1 8上の栈7 0の上面に接着剤2 1 0を例えば膜形成法によって塗布する。

そして、図5 4 Bに示すように、接着剤2 1 0を硬化させる前に、光導波板1 2をアクチュエータ基板1 8上の栈7 0に押し当てて、光導波板1 2とアクチュエータ基板1 8とを互いに接近する方向に加圧した後、その状態で接着剤2 1 0を硬化させて完成に至る。

この場合も、前記治具2 3 4を例えば金属などの剛性のある部材で構成すれば、画素構成体1 0 2が形成されたアクチュエータ基板1 8のうねりを当該治具2 3 4とアクチュエータ基板1 8との貼り合わせ加圧によって低減させることができ、高精度に栈7 0及び画素構成体1 0 2を形成することができる。

次に、第1 3の製造方法について図5 5 A～図5 6 Bを参照しながら説明する。この第1 3の製造方法は、アクチュエータ基板1 8に画素構成体1 0 2と栈7 0を形成し、該アクチュエータ基板1 8と板部材2 3 0に多数の寸法規定部材2 3 2が設けられた治具2 3 4とを貼り合わせ加圧することによって栈7 0と画素構成体1 0 2の寸法を規定し、その後、治具2 3 4を取り外して、光導波板1 2を貼り付けるというものである。

まず、図55Aに示すように、アクチュエータ基板18の一主面のうち、アクチュエータ部14が形成されていない部分に栈70を例えば膜形成法にて形成し、アクチュエータ基板18の各アクチュエータ部14上に画素構成体102を例えば膜形成法によって形成する。

その後、図55Bに示すように、前記アクチュエータ基板18上の栈70及び画素構成体102を硬化させる前に、治具234をアクチュエータ基板18上の栈70及び画素構成体102に押し当てて、治具とアクチュエータ基板18とを互いに接近する方向に加圧した後、その状態で栈70と画素構成体102を硬化させる。

次いで、図55Cに示すように、前記治具234を取り外した後、図56Aに示すように、アクチュエータ基板18上の栈70の上面に接着剤210を例えば膜形成法によって塗布する。

そして、図56Bに示すように、接着剤210を硬化させる前に、光導波板12をアクチュエータ基板18上の栈70に押し当てて、光導波板12とアクチュエータ基板18とを互いに接近する方向に加圧した後、その状態で接着剤210を硬化させて完成に至る。

この場合も、前記治具234を例えば金属などの剛性のある部材で構成すれば、画素構成体102と栈70が形成されたアクチュエータ基板18のうねりを当該治具234とアクチュエータ基板18との貼り合わせ加圧によって低減させることができ、高精度に栈70及び画素構成体102を形成することができる。

次に、第14の製造方法について図57A～図58Bを参照しながら説明する。この第14の製造方法は、アクチュエータ基板18に栈70を形成し、板部材230に多数の寸法規定部材232が設けられた治具234に画素構成体102を形成し、これらアクチュエータ基板18と治具234とを貼り合わせ加圧することによって栈70と画素構成体102の寸法を規定し、その後、治具234を取り外して、アクチュエータ基板18に画素構成体102を転写させた後、光導波板12を貼り付けるというものである。

まず、図57Aに示すように、治具234の寸法規定部材232が形成された面のうち、該寸法規定部材232が形成されていない部分であって、かつ、多数の画素に対応した箇所画素構成体102を形成し、アクチュエータ基板18のうち、前記ア

クチュエータ部 14 以外の箇所に複数の棧 70 を形成する。

その後、図 57B に示すように、アクチュエータ基板 18 に形成された棧 70 と治具 234 に形成された画素構成体 102 を硬化させる前に、治具 234 の前記画素構成体 102 が形成された面とアクチュエータ基板 18 の前記棧 70 が形成された面とを貼り合わせて、治具 234 とアクチュエータ基板 18 とを互いに接近する方向に加圧した後、その状態で棧 70 と画素構成体 102 を硬化させる。

その後、図 57C に示すように、前記治具 234 を除去して画素構成体 102 をアクチュエータ基板 18 に転写させた後、図 58A に示すように、アクチュエータ基板 18 上の棧 70 の上面に接着剤 210 を例えば膜形成法によって塗布する。

そして、図 58B に示すように、接着剤 210 を硬化させる前に、光導波板 12 をアクチュエータ基板 18 上の棧 70 に押し当てて、光導波板 12 とアクチュエータ基板 18 とを互いに接近する方向に加圧した後、その状態で接着剤 210 を硬化させて完成に至る。

この場合も、前記治具 234 を例えば金属などの剛性のある部材で構成すれば、画素構成体 102 が形成されたアクチュエータ基板 18 のうねりを当該治具 234 とアクチュエータ基板 18 との貼り合わせ加圧によって低減させることができ、高精度に棧 70 及び画素構成体 102 を形成することができる。

次に、第 15 の製造方法について図 59A ～図 60B を参照しながら説明する。この第 15 の製造方法は、板部材 230 に多数の寸法規定部材 232 が設けられた治具 234 に棧 70 と画素構成体 102 を形成し、該治具 234 とアクチュエータ基板 18 とを貼り合わせ加圧することによって棧 70 と画素構成体 102 の寸法を規定し、その後、治具 234 を取り外して、アクチュエータ基板 18 に棧 70 と画素構成体 102 を転写させた後、光導波板 12 を貼り付けるというものである。

まず、図 59A に示すように、治具 234 の寸法規定部材 232 が形成された面のうち、寸法規定部材 232 が形成されていない部分であって、かつ、多数の画素に対応した箇所以外の箇所に複数の棧 70 を形成し、該治具 234 の前記寸法規定部材 232 が形成された面のうち、寸法規定部材 232 が形成されていない部分であって、かつ、多数の画素に対応した箇所に画素構成体 102 を形成する。

その後、図 59B に示すように、治具 234 に形成された棧 70 及び画素構成体 1

02を硬化させる前に、治具234とアクチュエータ基板18とを貼り合わせて、治具234とアクチュエータ基板18とを互いに接近する方向に加圧した後、その状態で栈70と画素構成体102を硬化させる。

その後、図59Cに示すように、前記治具234を除去して栈と画素構成体102をアクチュエータ基板18に転写させた後、図60Aに示すように、アクチュエータ基板18上の栈70の上面に接着剤210を例えば膜形成法によって塗布する。

そして、図60Bに示すように、接着剤210を硬化させる前に、光導波板12をアクチュエータ基板18上の栈70に押し当てて、光導波板12とアクチュエータ基板18とを互いに接近する方向に加圧した後、その状態で接着剤210を硬化させて完成に至る。

この場合も、前記治具234を例えば金属などの剛性のある部材で構成すれば、アクチュエータ基板18のうねりを当該治具234とアクチュエータ基板18との貼り合わせ加圧によって低減させることができ、アクチュエータ基板18に対して高精度に栈70及び画素構成体102を転写形成することができる。

次に、第16の製造方法について図61A～図62Bを参照しながら説明する。この第16の製造方法は、栈70を一体に有するアクチュエータ基板18に画素構成体102を形成した後、アクチュエータ基板18に板材200を貼り合わせ、その後、板材200を除去して、光導波板12を貼り付けるというものである。

まず、図61Aに示すように、アクチュエータ部14以外の箇所に複数の栈70を一体に有するアクチュエータ基板18の各アクチュエータ部14上に画素構成体102を形成する。

その後、図61Bに示すように、アクチュエータ基板18上の画素構成体102を硬化させる前に、板材200をアクチュエータ基板18上の栈70及び画素構成体102に押し当てて、板材200とアクチュエータ基板18とを互いに接近する方向に加圧した後、その状態で画素構成体102を硬化させる。

その後、図62Aに示すように、前記板材200を除去した後、アクチュエータ基板18上の栈70の上面に接着剤210を例えば膜形成法によって塗布する。

そして、図62Bに示すように、接着剤210を硬化させる前に、光導波板12をアクチュエータ基板18上の栈70に押し当てて、光導波板12とアクチュエータ基

板 18 とを互いに接近する方向に加圧した後、その状態で接着剤 210 を硬化させて完成に至る。

この場合、アクチュエータ基板 18 として、予め栈 70 を一体に有するアクチュエータ基板 18 を用いるようにしているため、例えばアクチュエータ基板 18 を持ち運ぶ際や保管時において、該アクチュエータ基板 18 に形成されたアクチュエータ部 14 を前記栈 70 で保護することができる。また、栈 70 を別体で形成する場合と比して、栈 70 を硬化させる工程を省くことができ、工数の削減を図ることができる。

前記各実施の形態において、栈 70 を多層構造とすることも可能である。この場合、膜形成法を使って多層構造の栈 70 を形成する場合のほか、例えばセラミックス焼結法と前記膜形成法を組み合わせた方法で多層構造の栈を形成することも可能である。栈 70 を多層構造は、ギャップ量の調整において有利となる。

また、例えば栈 70 上に接着剤を塗布する場合は、例えば光吸収性のある接着剤を用いることによって該接着剤でギャップ形成層 50 の役割を果たすようにしてもよいし、画素構成体 102 上あるいはアクチュエータ部 14 上に接着剤を塗布する場合は、例えば光反射性のある接着剤を用いることによって該接着剤を画素構成体 102 の一部として機能させるようにしてもよい。

なお、この発明に係る表示装置及びその製造方法は、上述の実施の形態に限らず、この発明の要旨を逸脱することなく、種々の構成を採り得ることはもちろんである。

産業上の利用可能性

以上説明したように、本発明に係る表示装置及びその製造方法によれば、以下に示す効果を奏することができる。

- (1) 光導波板と画素構成体とのクリアランス（ギャップ）を容易に形成でき、かつ、全画素にわたって均一に形成することができる。
- (2) 前記ギャップの大きさを容易に制御することができる。
- (3) 光導波板への画素構成体の貼り付きを防止することができ、応答速度の高速化を有効に図ることができる。
- (4) 所定の画素構成体が光導波板に接触した際に、当該画素構成体に光が効率よく導入されるように、画素構成体の接触面（光導波板との接触面）を平滑に形成するこ

とができる。

- (5) 画素の応答速度を確保することができる。
- (6) 全画素にわたって均一な輝度を得ることができる。
- (7) 画素の輝度を向上させることができる。

請求の範囲

1. 光が導入される光導波板と、

該光導波板の一方の板面に対向して設けられ、かつ多数の画素に対応した数のアクチュエータ部が配列されたアクチュエータ基板と、

前記アクチュエータ基板の各アクチュエータ部上に形成された画素構成体と、

前記光導波板と前記アクチュエータ基板との間において、前記画素構成体以外の部分に形成された棧とを有することを特徴とする表示装置。

2. 請求項1記載の表示装置において、

前記アクチュエータ部は、形状保持層と、該形状保持層に形成された少なくとも一対の電極とを有する作動部と、該作動部を支持する振動部と、該振動部を振動可能に支持する固定部とを有することを特徴とする表示装置。

3. 請求項1又は2記載の表示装置において、

前記棧は前記光導波板に固着されていることを特徴とする表示装置。

4. 請求項1又は2記載の表示装置において、

前記光導波板と棧との間にギャップ形成層が設けられていることを特徴とする表示装置。

5. 請求項1～4のいずれか1項に記載の表示装置において、

前記棧は、各画素構成体の四方に形成されていることを特徴とする表示装置。

6. 請求項1～5のいずれか1項に記載の表示装置において、

前記棧は、少なくとも1つの画素構成体を囲む窓部を有することを特徴とする表示装置。

7. 請求項1～5のいずれか1項に記載の表示装置において、

前記棧は、前記画素構成体の配列方向に沿って延び、前記画素構成体の配列を囲むストライプ状の開口を有することを特徴とする表示装置。

8. 請求項1～5のいずれか1項に記載の表示装置において、

前記棧は、前記画素構成体の配列方向に沿って延びるライン状に形成されていることを特徴とする表示装置。

9. 請求項1～8のいずれか1項に記載の表示装置において、

前記棧は、前記アクチュエータ基板と一体に形成されていることを特徴とする表示装置。

10. 請求項1～8のいずれか1項に記載の表示装置において、

前記棧は、前記画素構成体の配列方向に沿って延びるワイヤ部材で構成されていることを特徴とする表示装置。

11. 請求項1～10のいずれか1項に記載の表示装置において、

前記画素構成体の表面に凹部が形成されていることを特徴とする表示装置。

12. 請求項1～11のいずれか1項に記載の表示装置において、

前記画素構成体の表面に段差が形成されていることを特徴とする表示装置。

13. 請求項1～12のいずれか1項に記載の表示装置において、

前記画素構成体の表面が凹形状であることを特徴とする表示装置。

14. 多数の画素に対応した数のアクチュエータ部が配列されたアクチュエータ基板のうち、前記アクチュエータ部以外の箇所に複数の棧を形成する棧形成工程と、

前記アクチュエータ基板の各アクチュエータ部上に画素構成体を形成する画素形成工程と、

少なくとも前記画素構成体が硬化していない状態で光導波板を貼り付け加圧した後、少なくとも前記画素構成体を硬化させる加圧工程とを有することを特徴とする表示装置の製造方法。

15. 光導波板のうち、多数の画素に対応した箇所以外の箇所に複数の棧を形成する棧形成工程と、

光導波板のうち、多数の画素に対応した箇所に画素構成体を形成する画素形成工程と、

多数の画素に対応した数のアクチュエータ部が配列されたアクチュエータ基板を前記棧及び画素構成体上に貼り付け、前記光導波板とアクチュエータ基板とを互いに接近する方向に加圧させる加圧工程とを有することを特徴とする表示装置の製造方法。

16. 多数の画素に対応した数のアクチュエータ部が配列されたアクチュエータ基板のうち、前記アクチュエータ部以外の箇所に複数の棧を形成する棧形成工程と、

光導波板のうち、多数の画素に対応した箇所に画素構成体を形成する画素形成工程と、

前記アクチュエータ基板の前記棧が形成された面と前記光導波板の前記画素構成体が形成された面とを貼り合わせ、前記光導波板とアクチュエータ基板とを互いに接近する方向に加圧させる加圧工程とを有することを特徴とする表示装置の製造方法。

17. 光導波板のうち、多数の画素に対応した箇所以外の箇所に複数の棧を形成する棧形成工程と、

多数の画素に対応した数のアクチュエータ部が配列されたアクチュエータ基板のうち、各アクチュエータ部上に画素構成体を形成する画素形成工程と、

前記アクチュエータ基板の前記画素構成体が形成された面と前記光導波板の前記棧が形成された面とを貼り合わせ、前記光導波板とアクチュエータ基板とを互いに接近する方向に加圧させる加圧工程とを有することを特徴とする表示装置の製造方法。

18. 多数の画素に対応した数のアクチュエータ部が配列され、かつ、前記アクチュエータ部以外の箇所に複数の棧を一体に有するアクチュエータ基板の各アクチュエータ部上に画素構成体を形成する画素形成工程と、

少なくとも前記画素構成体が硬化していない状態で光導波板を貼り付け加圧した後、少なくとも前記画素構成体を硬化させる加圧工程とを有することを特徴とする表示装置の製造方法。

19. 多数の画素に対応した数のアクチュエータ部が配列されたアクチュエータ基板のうち、前記アクチュエータ部以外の箇所に複数の棧を形成する棧形成工程と、

前記アクチュエータ基板の各アクチュエータ部上に画素構成体を形成する画素形成工程と、

少なくとも前記画素構成体が硬化していない状態で板材を貼り付ける第1の貼付け工程と、

前記アクチュエータ基板と板材とを互いに接近する方向に加圧した後、少なくとも前記画素構成体を硬化させる加圧工程と、

前記板材を除去した後、少なくとも前記棧上に光導波板を貼り付ける第2の貼付け工程とを有することを特徴とする表示装置の製造方法。

20. 板材のうち、多数の画素に対応した箇所以外の箇所に複数の棧を形成する棧形成工程と、

板材のうち、多数の画素に対応した箇所に画素構成体を形成する画素形成工程と、

多数の画素に対応した数のアクチュエータ部が配列されたアクチュエータ基板を前記棧及び画素構成体上に貼り付ける第1の貼付け工程と、

前記板材とアクチュエータ基板とを互いに接近する方向に加圧する加圧工程と、

前記板材を除去して前記棧及び前記画素構成体を前記アクチュエータ基板に転写した後、少なくとも前記棧上に光導波板を貼り付ける第2の貼付け工程とを有することを特徴とする表示装置の製造方法。

21. 多数の画素に対応した数のアクチュエータ部が配列されたアクチュエータ基板のうち、前記アクチュエータ部以外の箇所に複数の棧を形成する棧形成工程と、

板材のうち、多数の画素に対応した箇所に画素構成体を形成する画素形成工程と、

前記アクチュエータ基板の前記棧が形成された面と前記板材の前記画素構成体が形成された面とを貼り合わせる第1の貼付け工程と、

前記板材とアクチュエータ基板とを互いに接近する方向に加圧する加圧工程と、

前記板材を除去して前記画素構成体を前記アクチュエータ基板に転写した後、少なくとも前記棧上に光導波板を貼り付ける第2の貼付け工程とを有することを特徴とする表示装置の製造方法。

22. 多数の画素に対応した数のアクチュエータ部が配列されたアクチュエータ基板のうち、各アクチュエータ部上に画素構成体を形成する画素形成工程と、

板材のうち、多数の画素に対応した箇所以外の箇所に複数の棧を形成する棧形成工程と、

前記アクチュエータ基板の前記画素構成体が形成された面と前記板材の前記棧が形成された面とを貼り合わせる第1の貼付け工程と、

前記板材とアクチュエータ基板とを互いに接近する方向に加圧する加圧工程と、

前記板材を除去して前記棧を前記アクチュエータ基板に転写した後、少なくとも前記棧上に光導波板を貼り付ける第2の貼付け工程とを有することを特徴とする表示装置の製造方法。

23. 多数の画素に対応した数のアクチュエータ部が配列され、かつ、前記アクチュエータ部以外の箇所に複数の棧を一体に有するアクチュエータ基板の各アクチュエータ部上に画素構成体を形成する画素形成工程と、

少なくとも前記画素構成体が硬化していない状態で板材を貼り付ける第1の貼付け

工程と、

前記アクチュエータ基板と板材とを互いに接近する方向に加圧した後、少なくとも前記画素構成体を硬化させる加圧工程と、

前記板材を除去した後、少なくとも前記栈上に光導波板を貼り付ける第2の貼付け工程とを有することを特徴とする表示装置の製造方法。

24. 多数の画素に対応した数のアクチュエータ部が配列されたアクチュエータ基板のうち、各アクチュエータ部上に画素構成体を形成する画素形成工程と、

板部材の一方の面に、前記アクチュエータ基板に形成されるべき栈と高さがほぼ同じとされた寸法規定部材が多数形成された治具を用い、該治具の前記寸法規定部材が形成された面と前記アクチュエータ基板の前記画素構成体が形成された面とを貼り合わせる第1の貼付け工程と、

前記治具とアクチュエータ基板とを互いに接近する方向に加圧する加圧工程と、

前記治具を取り外した後、前記アクチュエータ基板のうち、前記アクチュエータ部以外の箇所に複数の栈を形成する栈形成工程と、

前記アクチュエータ基板の少なくとも前記栈上に光導波板を貼り付ける第2の貼付け工程とを有することを特徴とする表示装置の製造方法。

25. 多数の画素に対応した数のアクチュエータ部が配列されたアクチュエータ基板のうち、各アクチュエータ部上に画素構成体を形成する画素形成工程と、

板部材の一方の面に、前記アクチュエータ基板に形成されるべき栈と高さがほぼ同じとされた寸法規定部材が多数形成された治具を用い、該治具の前記寸法規定部材が形成された面と前記アクチュエータ基板の前記画素構成体が形成された面とを貼り合わせる第1の貼付け工程と、

前記治具とアクチュエータ基板とを互いに接近する方向に加圧する加圧工程と、

前記治具を取り外した後、光導波板のうち、多数の画素に対応した箇所以外の箇所に複数の栈を形成する栈形成工程と、

前記アクチュエータ基板の前記画素構成体が形成された面と前記光導波板の前記栈が形成された面とを貼り合わせる第2の貼付け工程とを有することを特徴とする表示装置の製造方法。

26. 多数の画素に対応した数のアクチュエータ部が配列されたアクチュエータ基板

のうち、各アクチュエータ部上に画素構成体を形成する画素形成工程と、

板部材の一方の面に、前記アクチュエータ基板に形成されるべき栈と高さがほぼ同じとされた寸法規定部材が多数形成された治具を用い、該治具の前記寸法規定部材が形成された面のうち、前記寸法規定部材が形成されていない部分であって、かつ、多数の画素に対応した箇所以外の箇所に複数の栈を形成する栈形成工程と、

前記治具の前記寸法規定部材と栈が形成された面と前記アクチュエータ基板の前記画素構成体が形成された面とを貼り合わせる第1の貼付け工程と、

前記治具とアクチュエータ基板とを互いに接近する方向に加圧する加圧工程と

前記治具を取り外して前記栈を前記アクチュエータ基板に転写した後、前記アクチュエータ基板の少なくとも前記栈上に光導波板を貼り付ける第2の貼付け工程とを有することを特徴とする表示装置の製造方法。

27. 多数の画素に対応した数のアクチュエータ部が配列されたアクチュエータ基板のうち、前記アクチュエータ部以外の箇所に複数の栈を形成する栈形成工程と、

前記アクチュエータ基板の各アクチュエータ部上に画素構成体を形成する画素形成工程と、

板部材の一方の面に、前記アクチュエータ基板に形成されるべき栈と高さがほぼ同じとされた寸法規定部材が多数形成された治具を用い、該治具の前記寸法規定部材が形成された面と前記アクチュエータ基板の前記栈と前記画素構成体が形成された面とを貼り合わせる第1の貼付け工程と、

前記治具とアクチュエータ基板とを互いに接近する方向に加圧する加圧工程と、

前記治具を取り外した後、前記アクチュエータ基板の少なくとも前記栈上に光導波板を貼り付ける第2の貼付け工程とを有することを特徴とする表示装置の製造方法。

28. 多数の画素に対応した数のアクチュエータ部が配列されたアクチュエータ基板のうち、前記アクチュエータ部以外の箇所に複数の栈を形成する栈形成工程と、

板部材の一方の面に、前記アクチュエータ基板に形成されるべき栈と高さがほぼ同じとされた寸法規定部材が多数形成された治具を用い、該治具の前記寸法規定部材が形成された面のうち、前記寸法規定部材が形成されていない部分であって、かつ、多

数の画素に対応した箇所画素構成体を形成する画素形成工程と、

前記治具の前記寸法規定部材と画素構成体が形成された面と前記アクチュエータ基板の前記棧が形成された面とを貼り合わせる第1の貼付け工程と、

前記治具とアクチュエータ基板とを互いに接近する方向に加圧する加圧工程と、

前記治具を取り外して前記画素構成体を前記アクチュエータ基板に転写した後、前記アクチュエータ基板の少なくとも前記棧上に光導波板を貼り付ける第2の貼付け工程とを有することを特徴とする表示装置の製造方法。

29. 板部材の一方の面に、前記アクチュエータ基板に形成されるべき棧と高さがほぼ同じとされた寸法規定部材が多数形成された治具を用い、該治具の前記寸法規定部材が形成された面のうち、前記寸法規定部材が形成されていない部分であって、かつ、多数の画素に対応した箇所以外の箇所に複数の棧を形成する棧形成工程と、

該治具の前記寸法規定部材が形成された面のうち、前記寸法規定部材が形成されていない部分であって、かつ、多数の画素に対応した箇所に画素構成体を形成する画素形成工程と、

多数の画素に対応した数のアクチュエータ部が配列されたアクチュエータ基板を前記治具上の前記棧及び画素構成体上に貼り付ける第1の貼付け工程と、

前記治具とアクチュエータ基板とを互いに接近する方向に加圧する加圧工程と、

前記治具を除去して前記棧及び前記画素構成体を前記アクチュエータ基板に転写した後、少なくとも前記棧上に光導波板を貼り付ける第2の貼付け工程とを有することを特徴とする表示装置の製造方法。

30. 請求項20、22、25、26又は29記載の表示装置の製造方法において、

前記棧の形成は、前記棧を構成する部材を液体の表面張力を利用して貼り合わせるにより行われることを特徴とする表示装置の製造方法。

31. 請求項20、22、25、26又は29記載の表示装置の製造方法において、

前記棧形成工程は、前記板材の所要箇所に前記棧を形成した後、該棧を硬化させることを含むことを特徴とする表示装置の製造方法。

32. 請求項14～31のいずれか1項に記載の表示装置の製造方法において、

前記加圧工程は、前記アクチュエータ基板と該アクチュエータ基板と加圧されるべき部材とを加圧した状態で、少なくとも前記画素構成体を硬化させることを

含むことを特徴とする表示装置の製造方法。

33. 請求項14～32のいずれか1項に記載の表示装置の製造方法において、
前記光導波板は、前記栈と対応する箇所ギャップ形成層を有することを特徴とする表示装置の製造方法。

34. 請求項14～32のいずれか1項に記載の表示装置の製造方法において、
前記光導波板を貼り付ける前に、予め前記栈上にギャップ形成層を形成しておくことを特徴とする表示装置の製造方法。

35. 請求項14～34のいずれか1項に記載の表示装置の製造方法において、
前記アクチュエータ基板と該アクチュエータ基板と加圧されるべき部材との加圧の際に、ギャップ形成のための前処理を行い、その後の少なくとも前記画素構成体の硬化において、前記画素構成体と前記光導波板との間に所定のギャップを形成することを特徴とする表示装置の製造方法。

36. 請求項14～35のいずれか1項に記載の表示装置の製造方法において、
前記アクチュエータ基板と該アクチュエータ基板と加圧されるべき部材との加圧に真空包装法を用いることを特徴とする表示装置の製造方法。

37. 請求項14～35のいずれか1項に記載の表示装置の製造方法において、
前記アクチュエータ基板と該アクチュエータ基板と加圧されるべき部材との加圧に低圧プレス法を用いることを特徴とする表示装置の製造方法。

38. 請求項19～37のいずれか1項に記載の表示装置の製造方法において、
前記第1の貼付け工程で前記アクチュエータ基板に貼り付けられる部材として、前記画素構成体に対応する箇所にそれぞれ凸部を有するものを使用し、

前記第1の貼付け工程後の加圧工程での加圧時に、前記画素構成体の表面に前記凸部に応じた凹部を形成することを特徴とする表示装置の製造方法。

39. 請求項19～38のいずれか1項に記載の表示装置の製造方法において、
前記第1の貼付け工程で前記アクチュエータ基板に貼り付けられる部材として、前記画素構成体に対応する箇所にそれぞれ凸部を有するものを使用し、

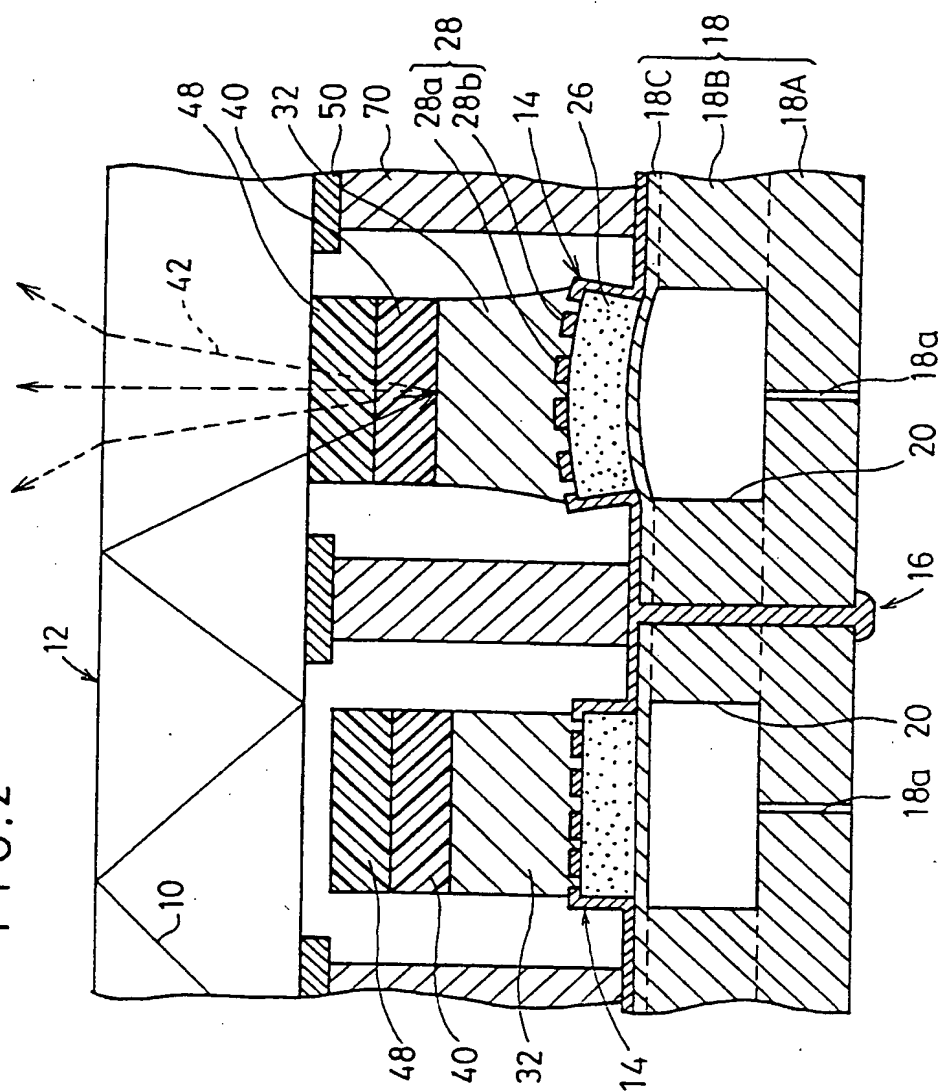
前記第1の貼付け工程後の加圧工程での加圧時に、前記画素構成体の表面に前記凸部に応じた段差を形成することを特徴とする表示装置の製造方法。

40. 請求項19～39のいずれか1項に記載の表示装置の製造方法において、

前記第 1 の貼付け工程で前記アクチュエータ基板に貼り付けられる部材として、前記画素構成体に対応する箇所それぞれ凸形状が形成されたものを使用し、

前記第 1 の貼付け工程後の加圧工程での加圧時に、前記画素構成体の表面に前記凸形状に応じた凹形状を形成することを特徴とする表示装置の製造方法。

FIG. 2



3/60

FIG. 3

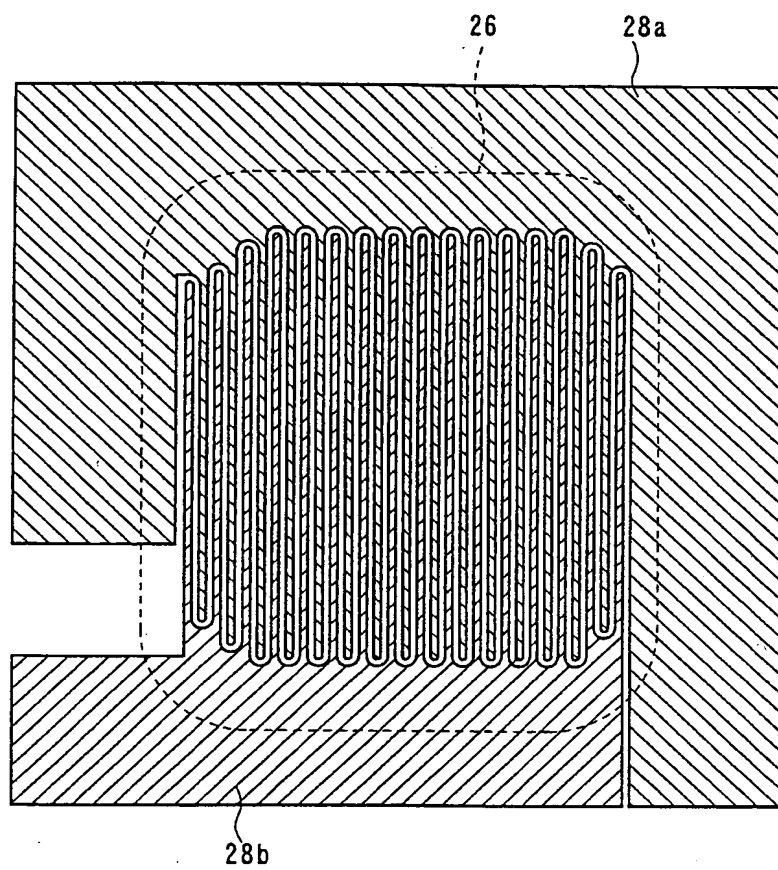


FIG. 4A

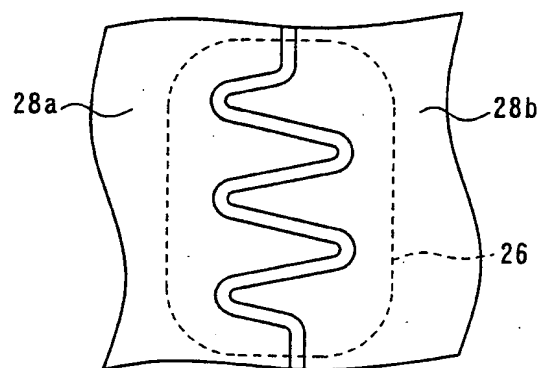


FIG. 4B

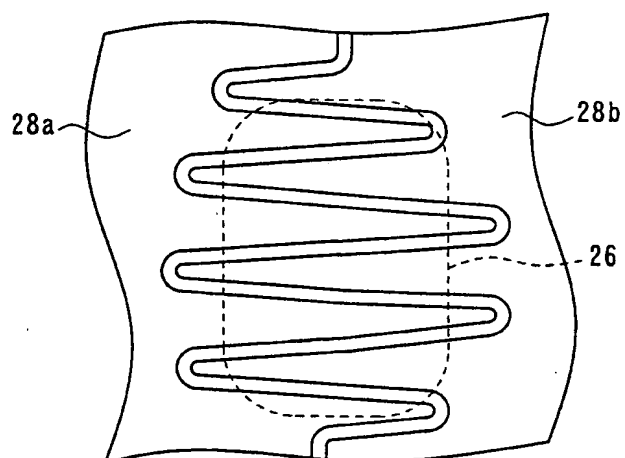


FIG. 5A

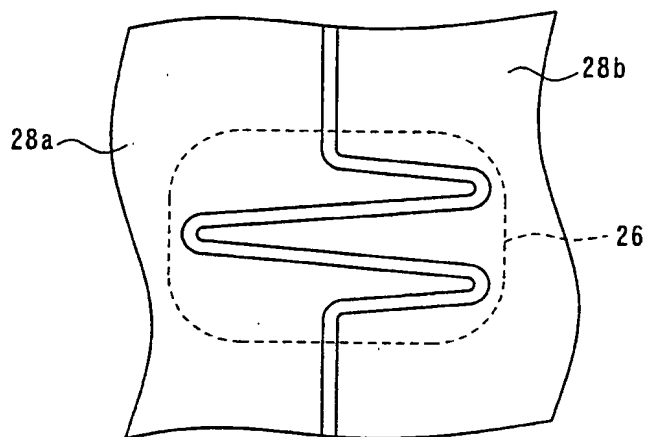
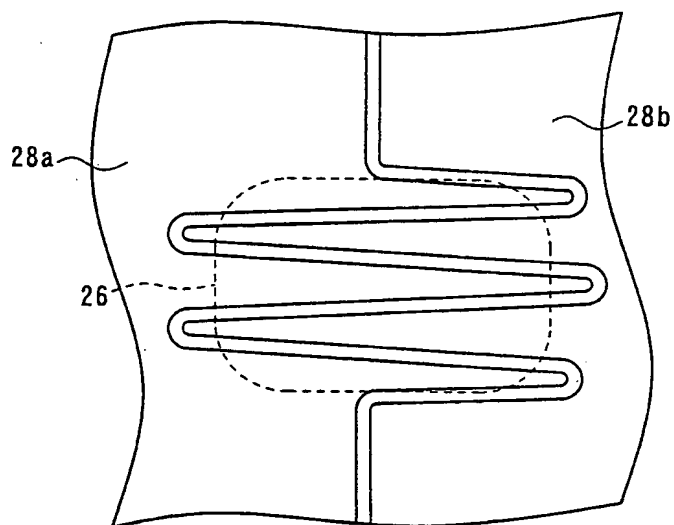


FIG. 5B



6/60

FIG. 6

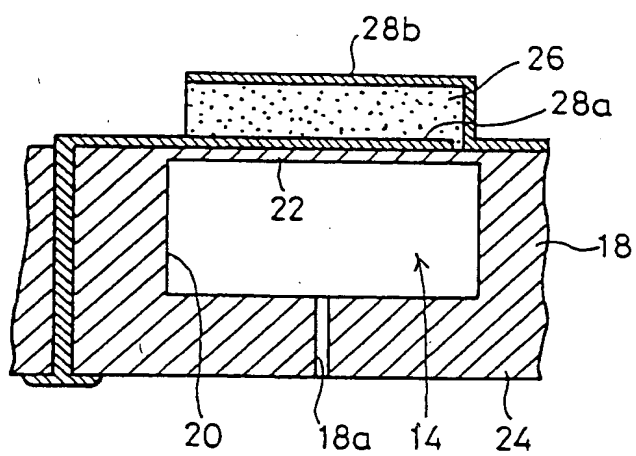


FIG. 7

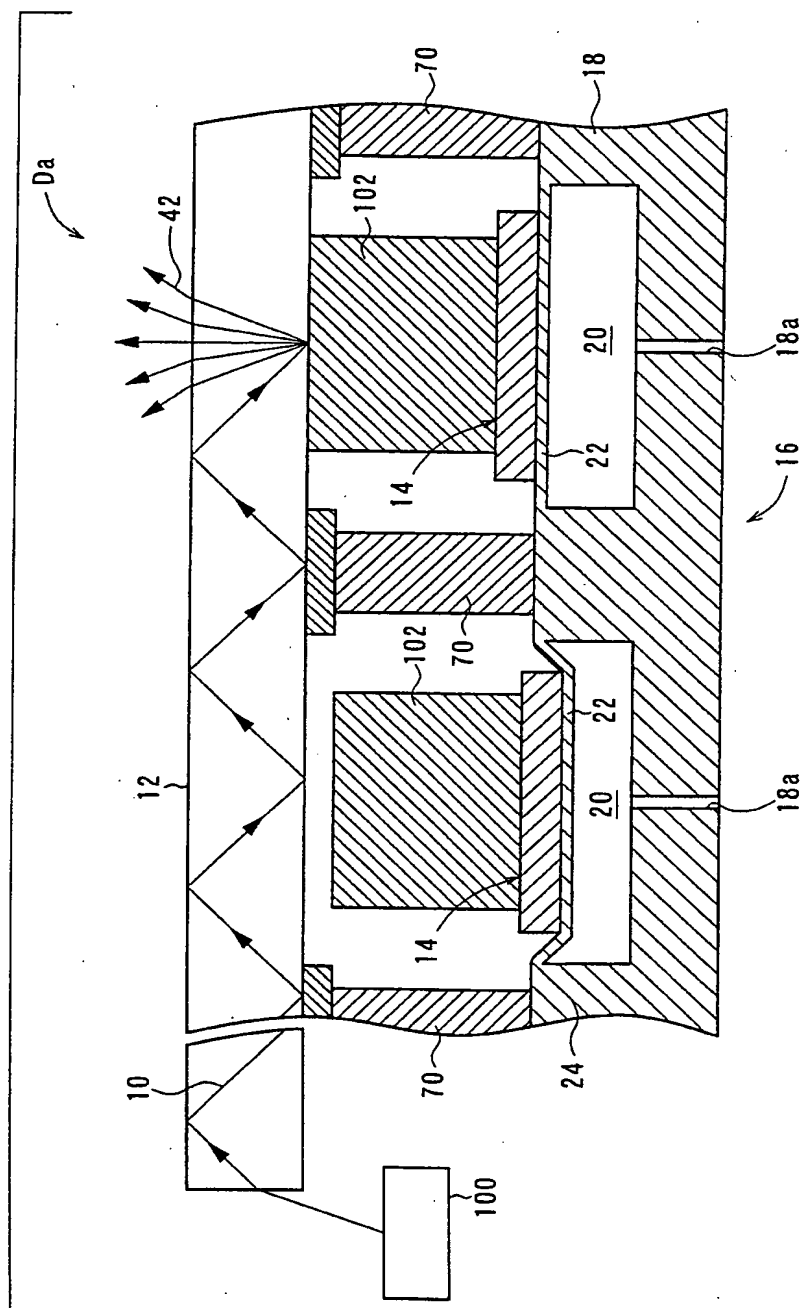


FIG. 8

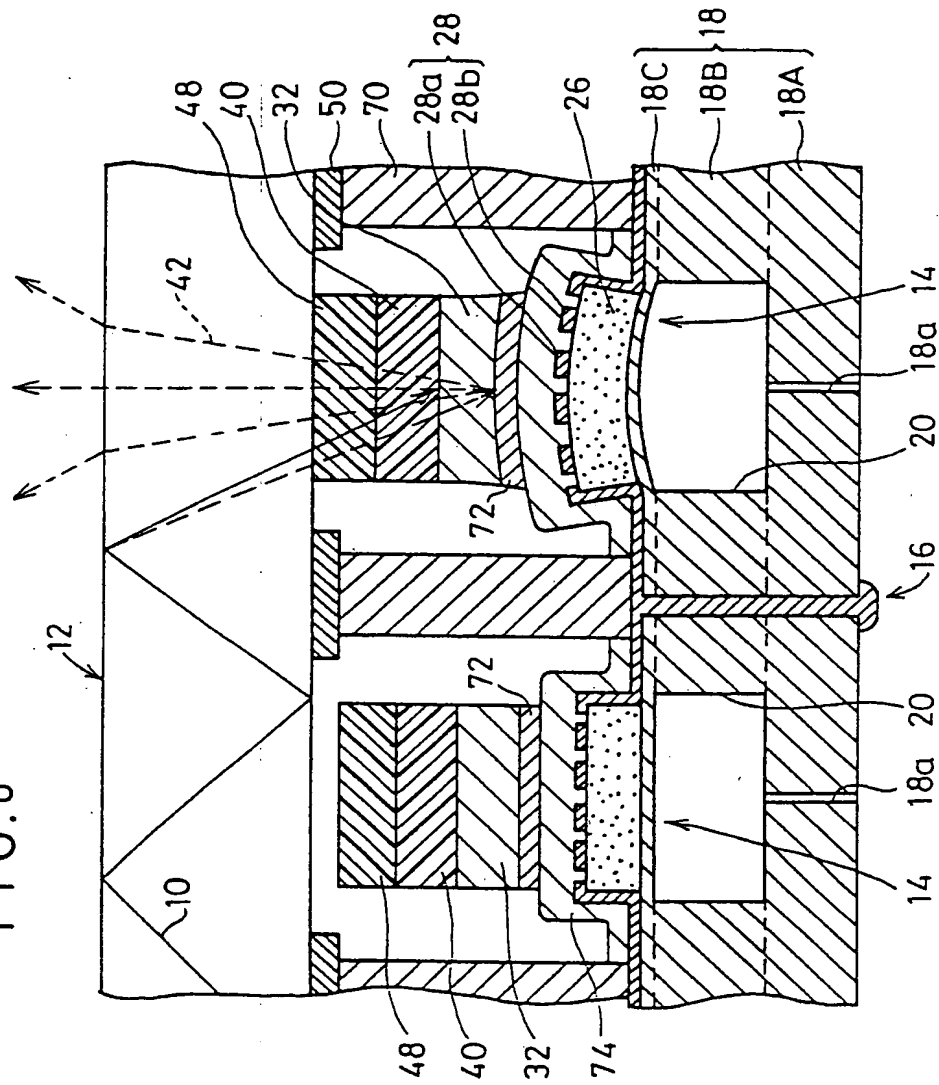
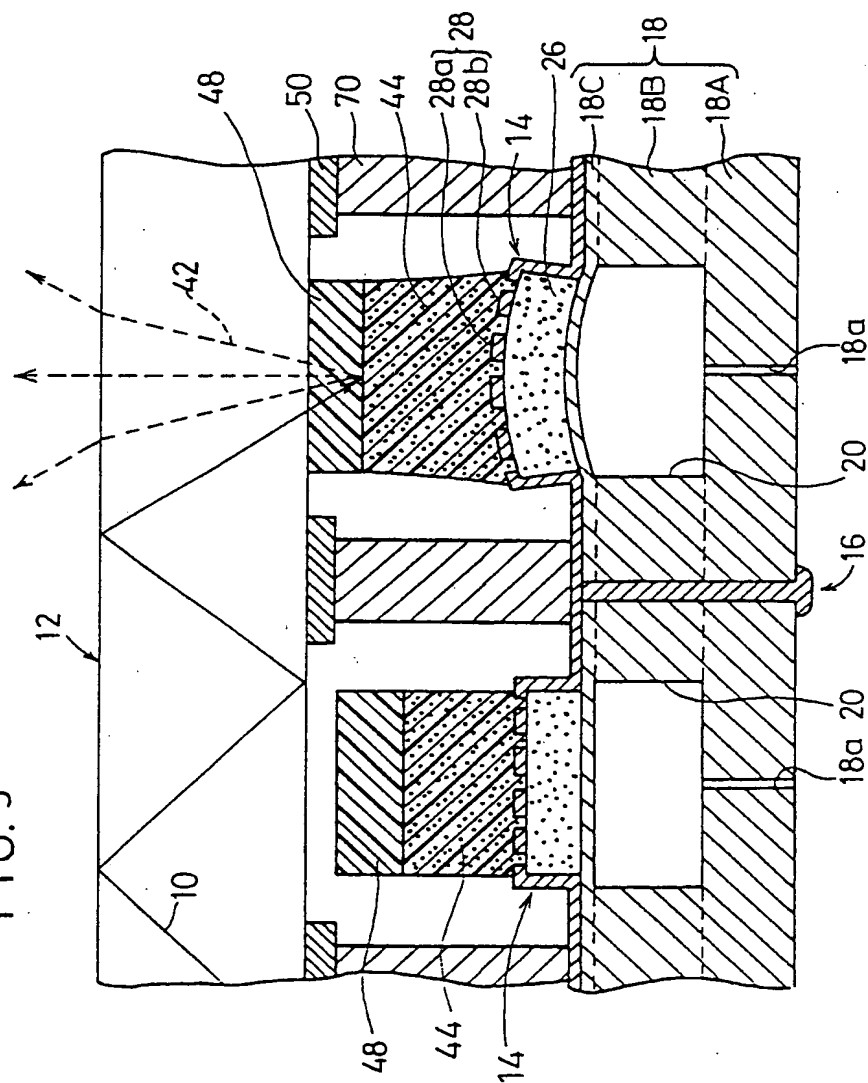
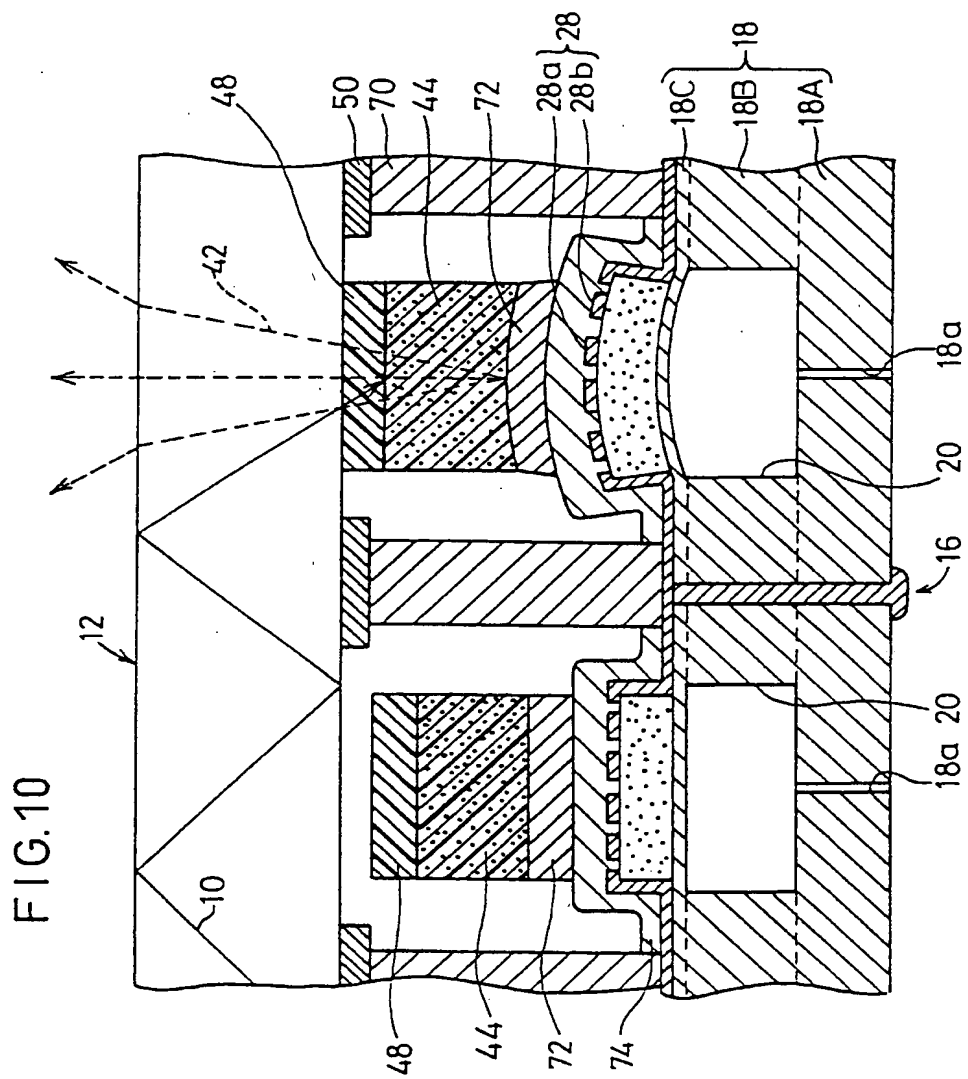


Fig. 9



10/60



11/60

FIG. 11

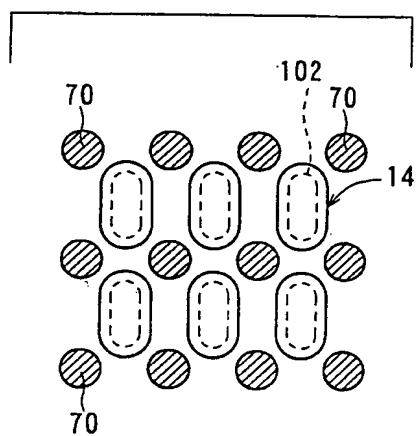
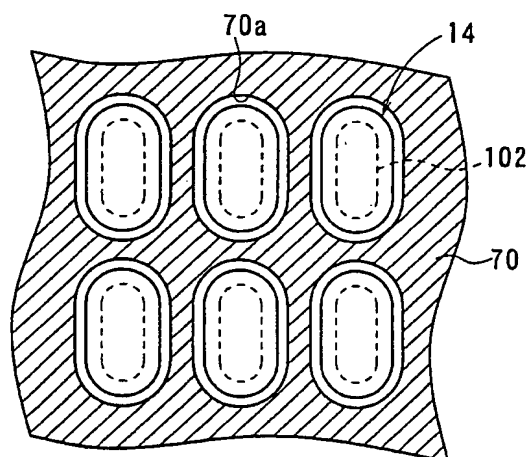


FIG. 12



12/60

FIG. 13

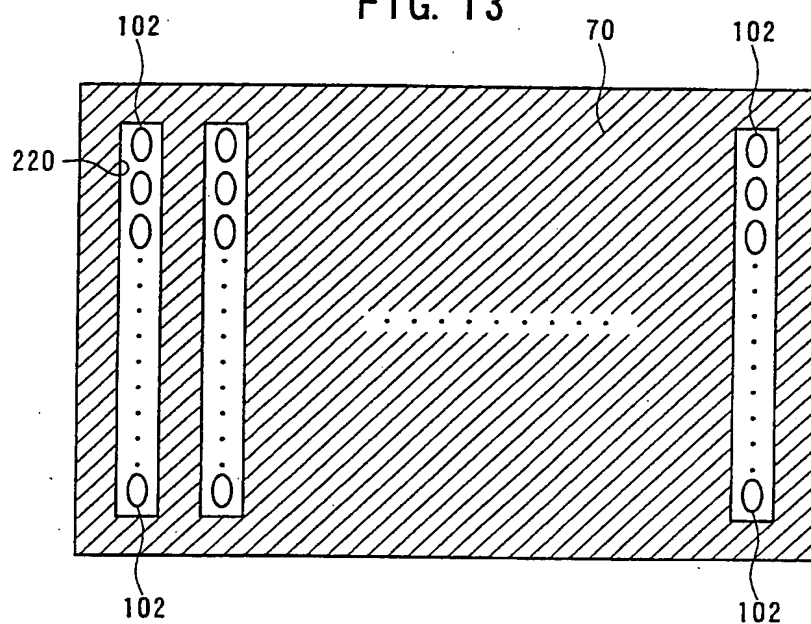


FIG. 14

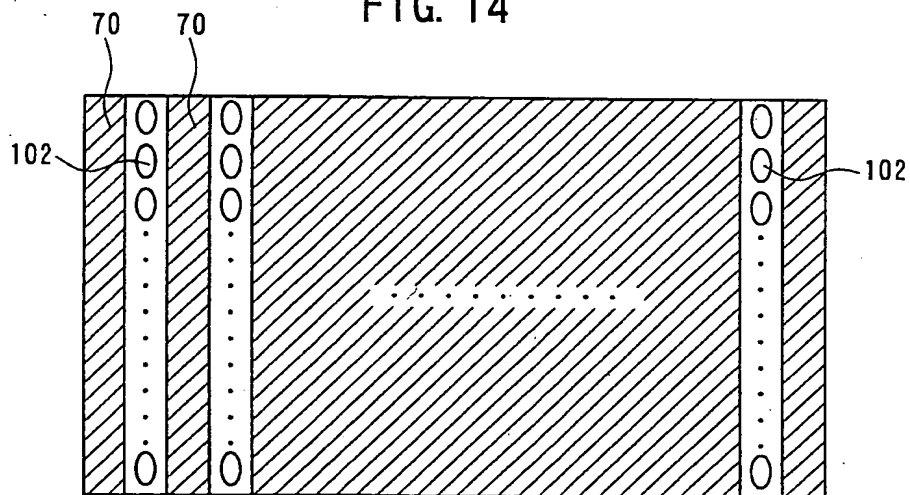
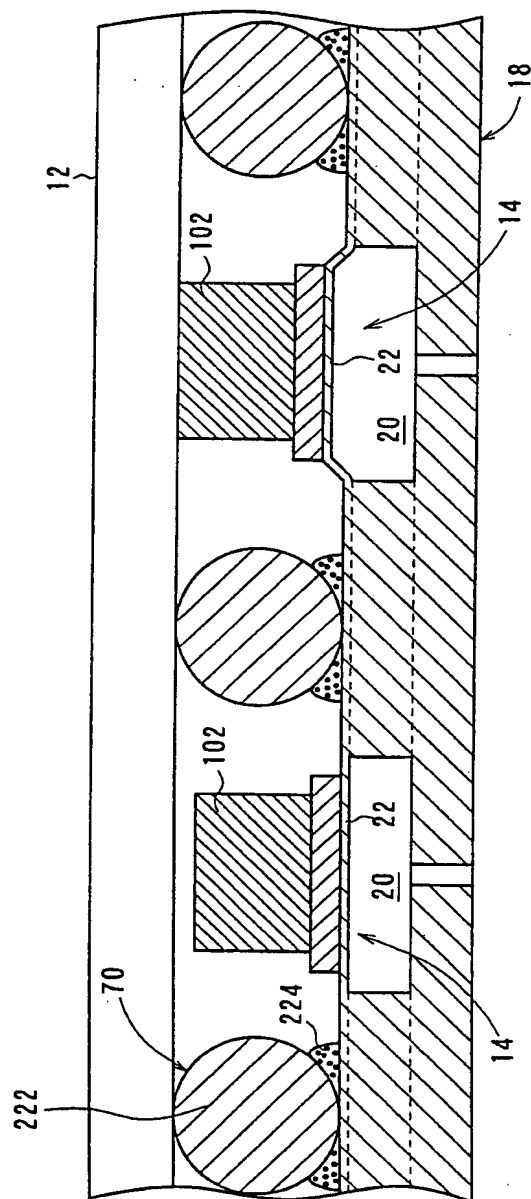


FIG. 15



15/60

FIG.17

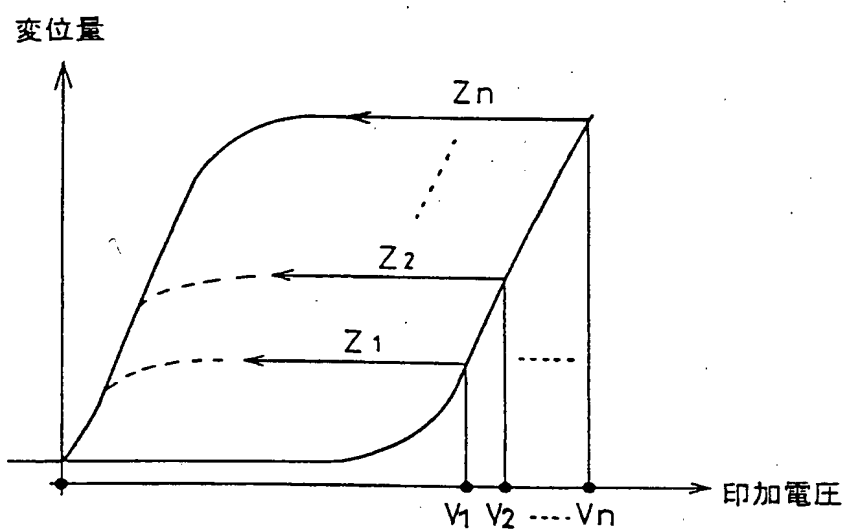
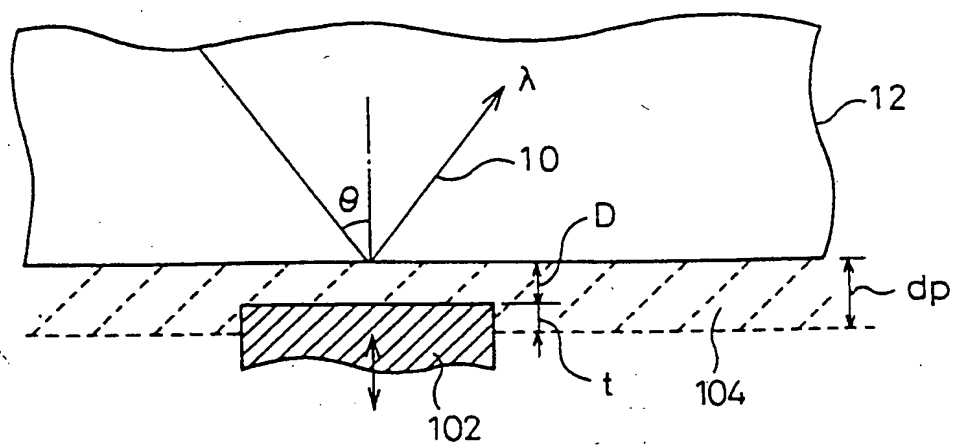
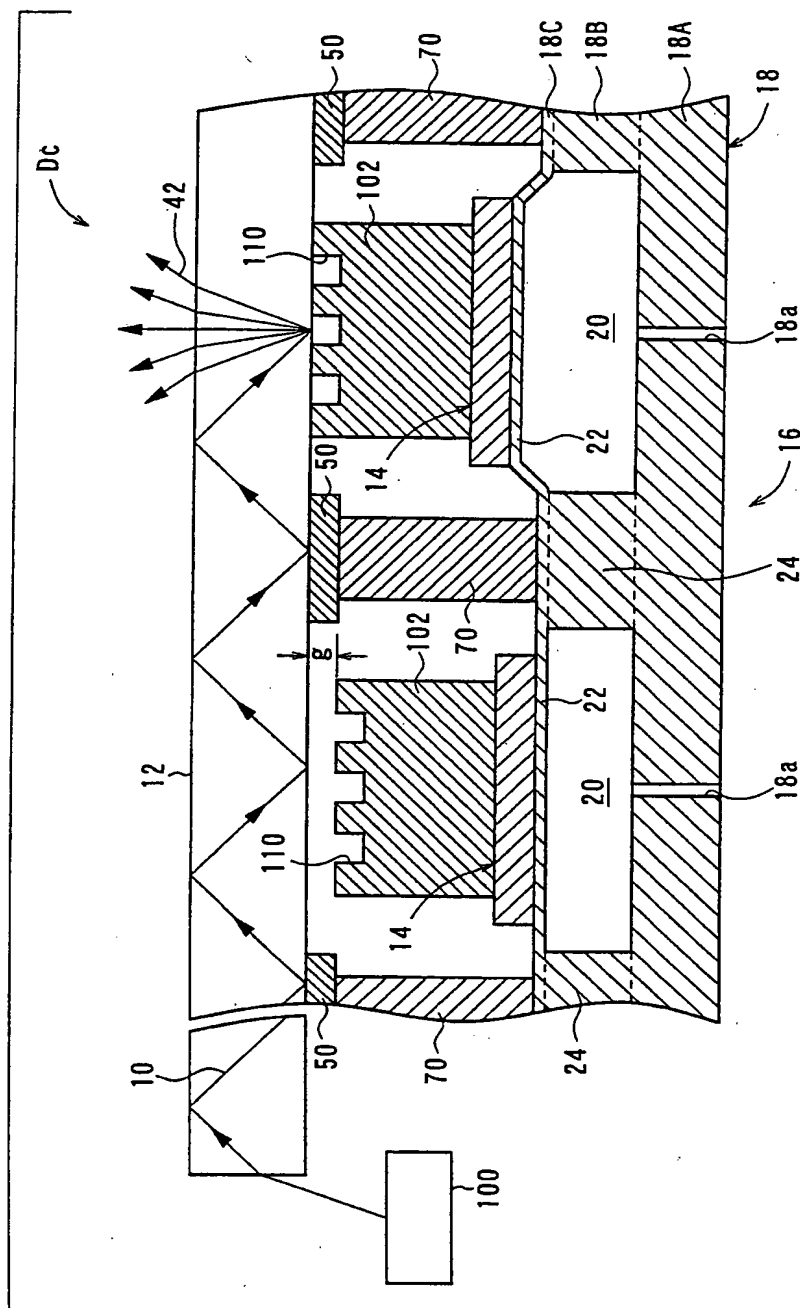


FIG.18



18/60

FIG. 21



19/60

FIG. 22

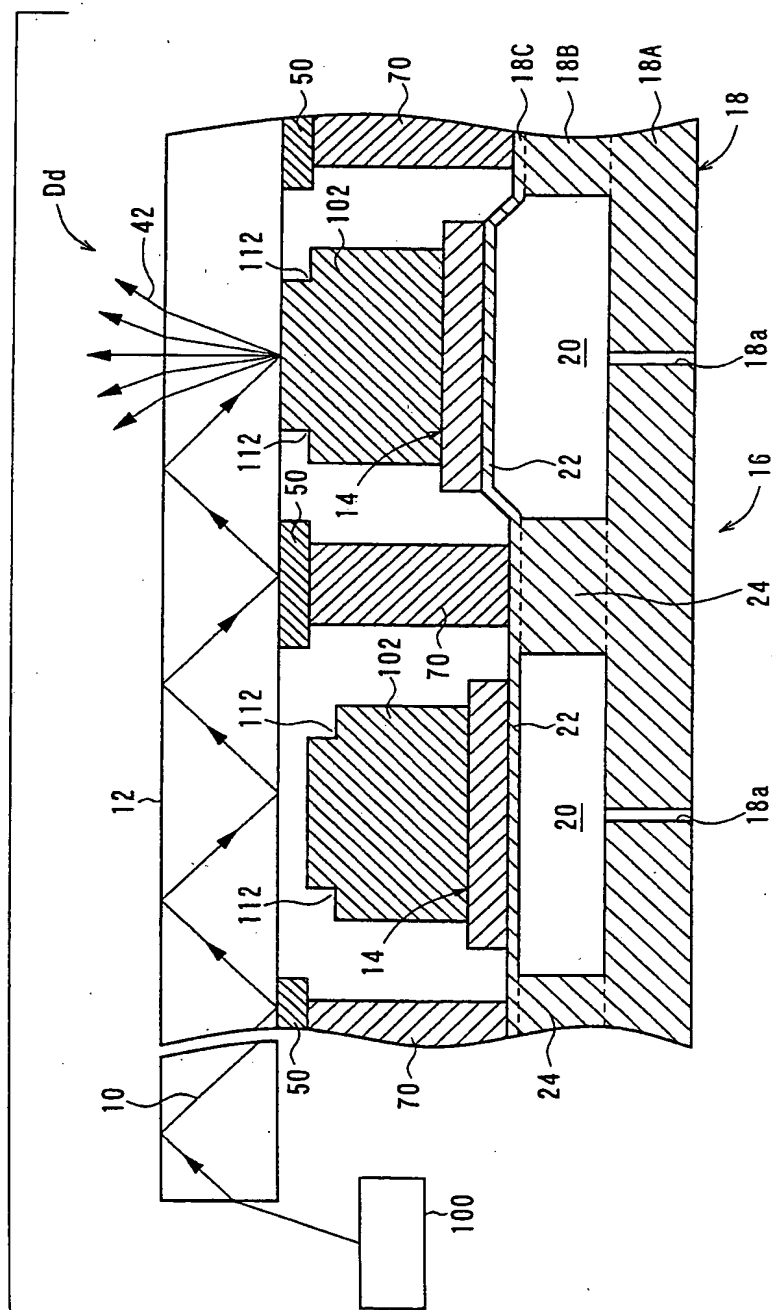


FIG. 23

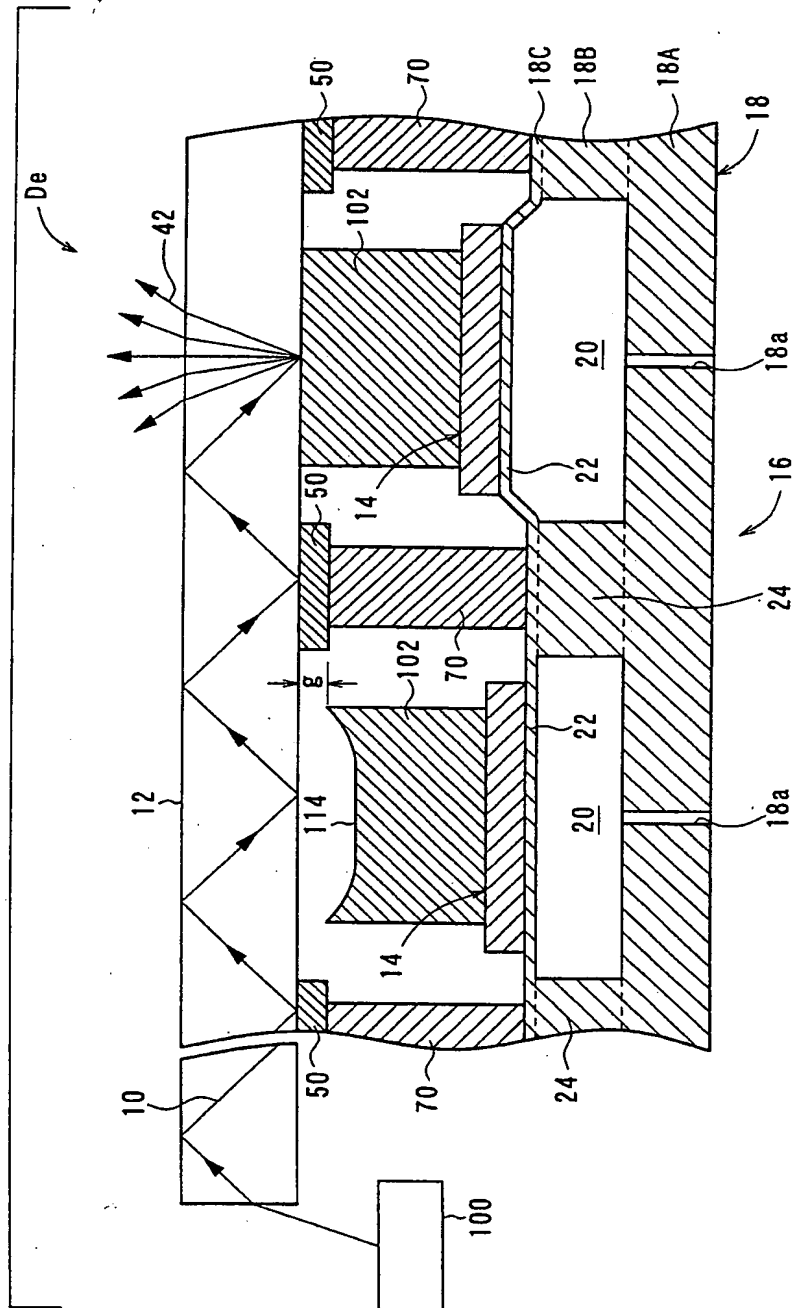
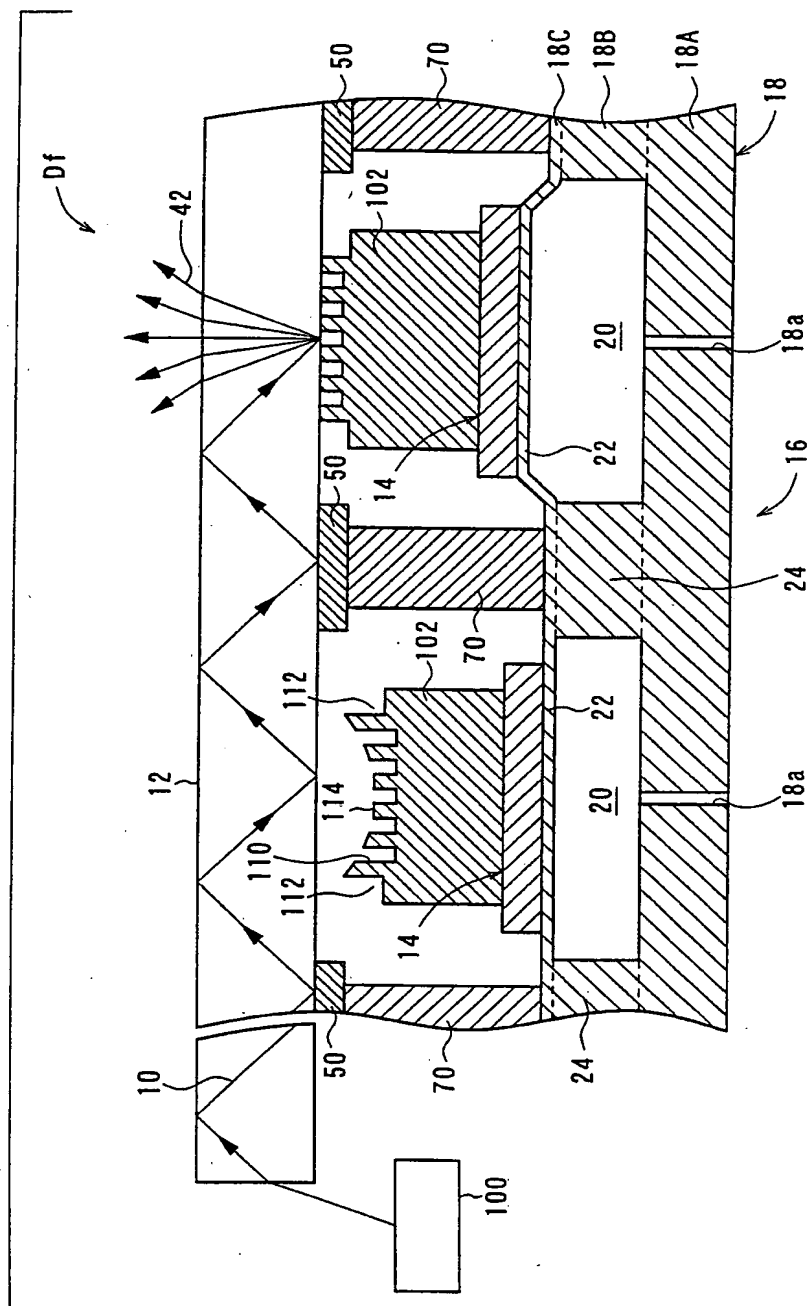
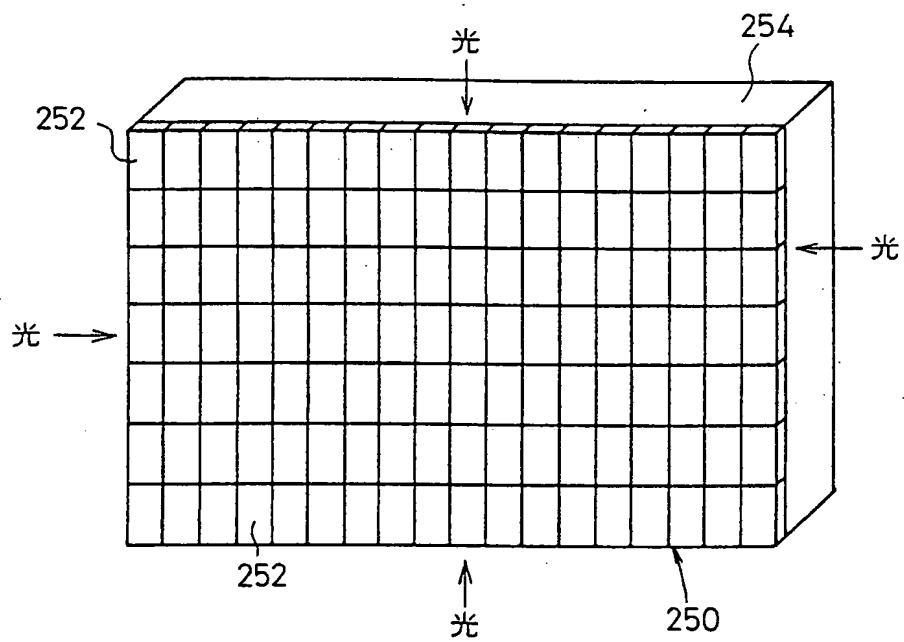


FIG. 24



22/60

FIG. 25



23/60

FIG. 26A

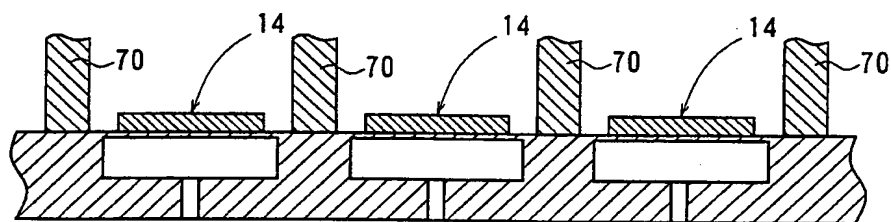


FIG. 26B

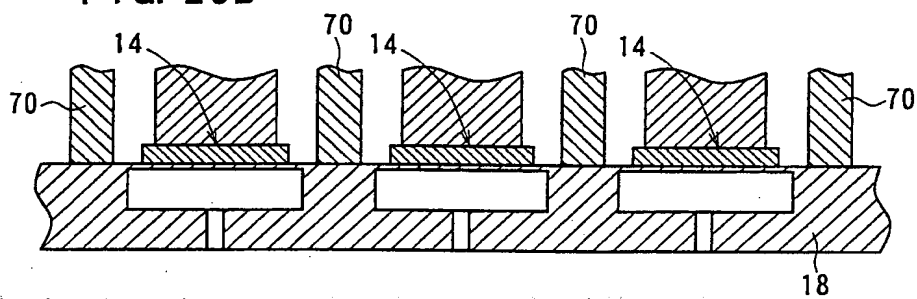
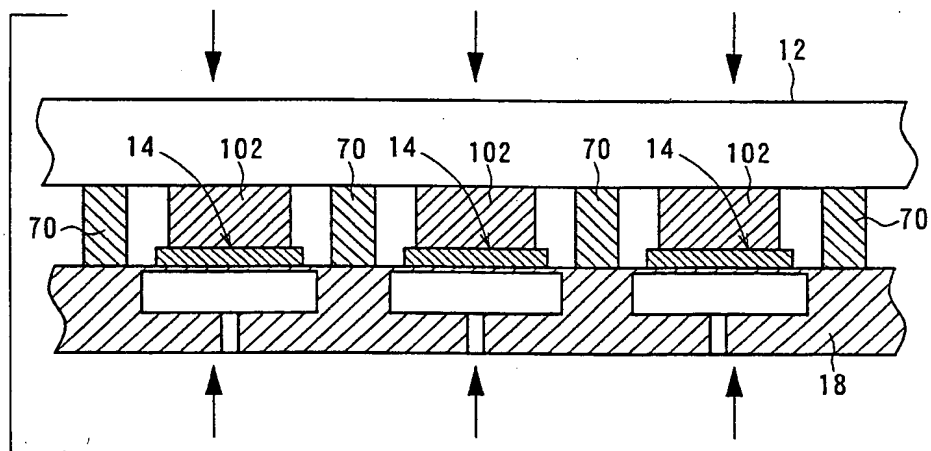


FIG. 26C



24/60

FIG. 27A

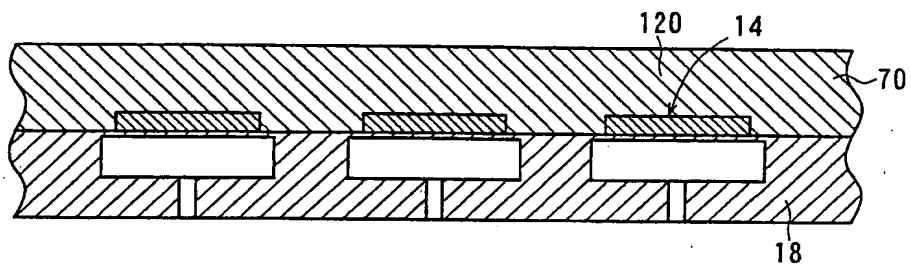


FIG. 27B

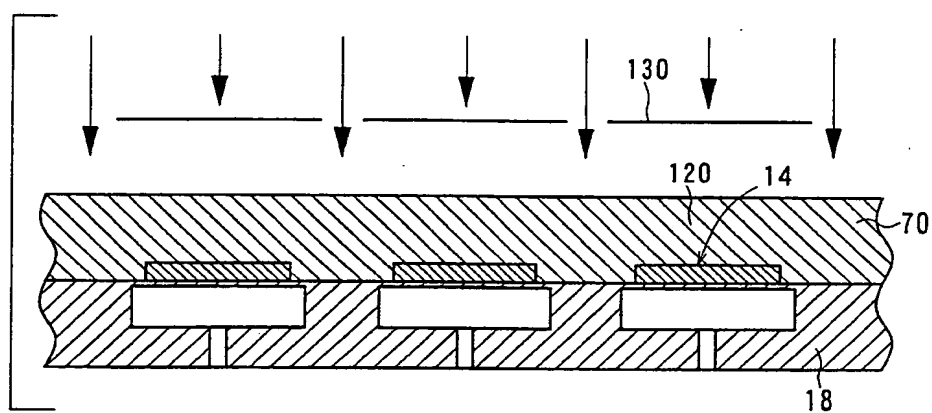


FIG. 27C

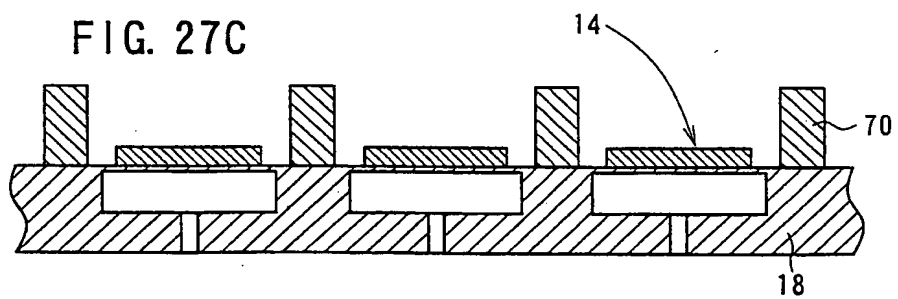


FIG. 28A

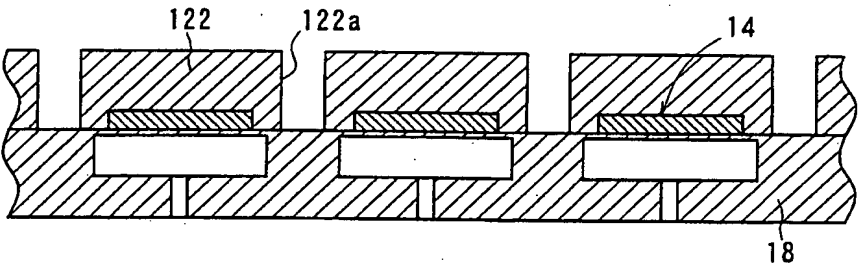


FIG. 28B

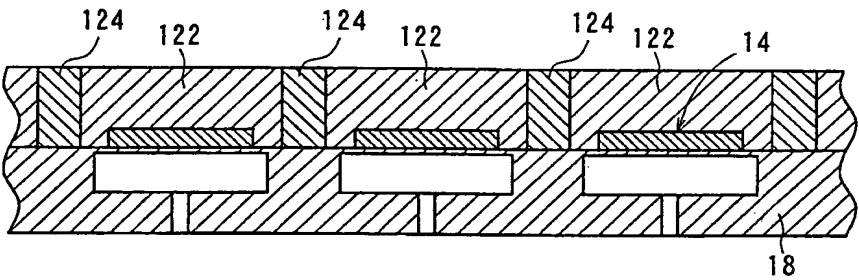
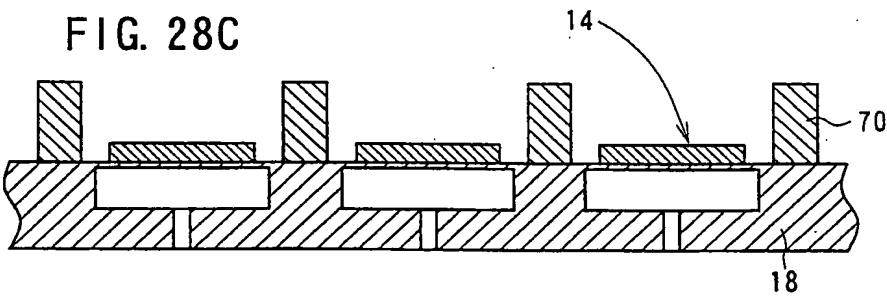


FIG. 28C



26/60

FIG. 29

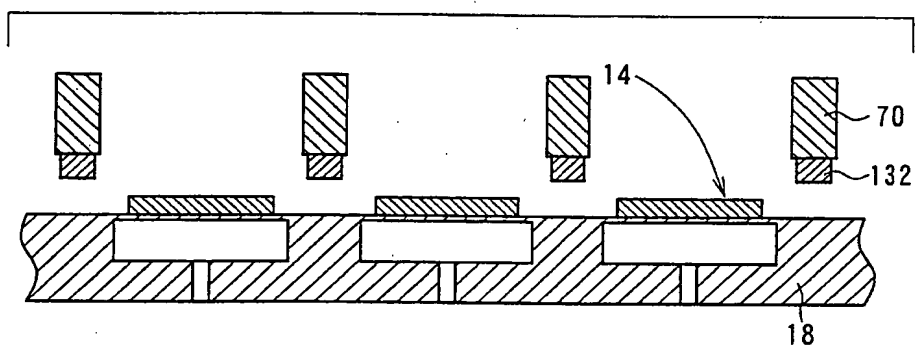


FIG. 30

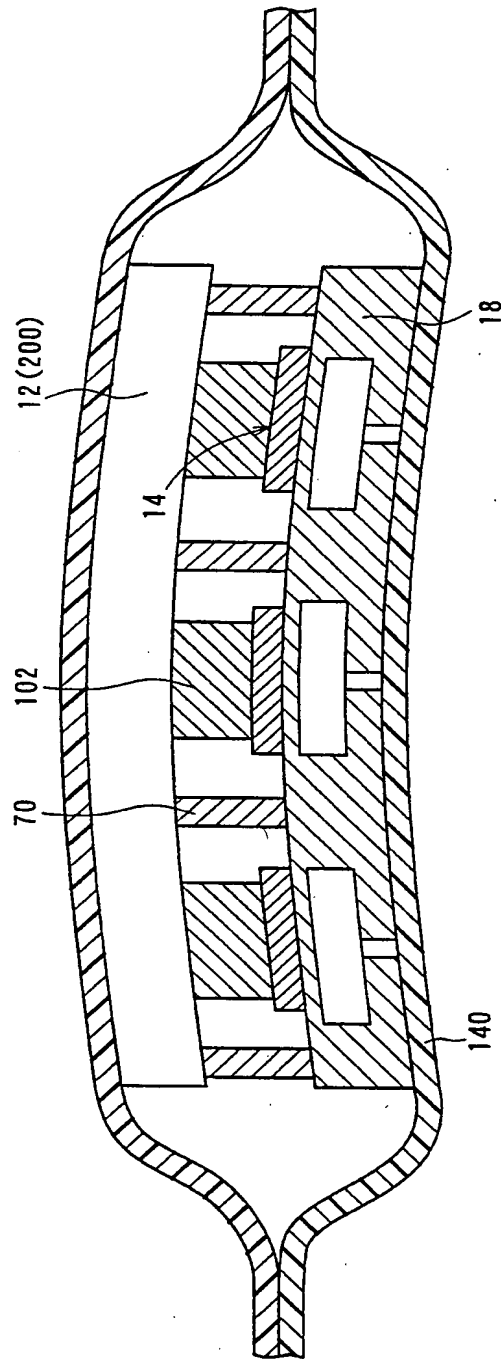
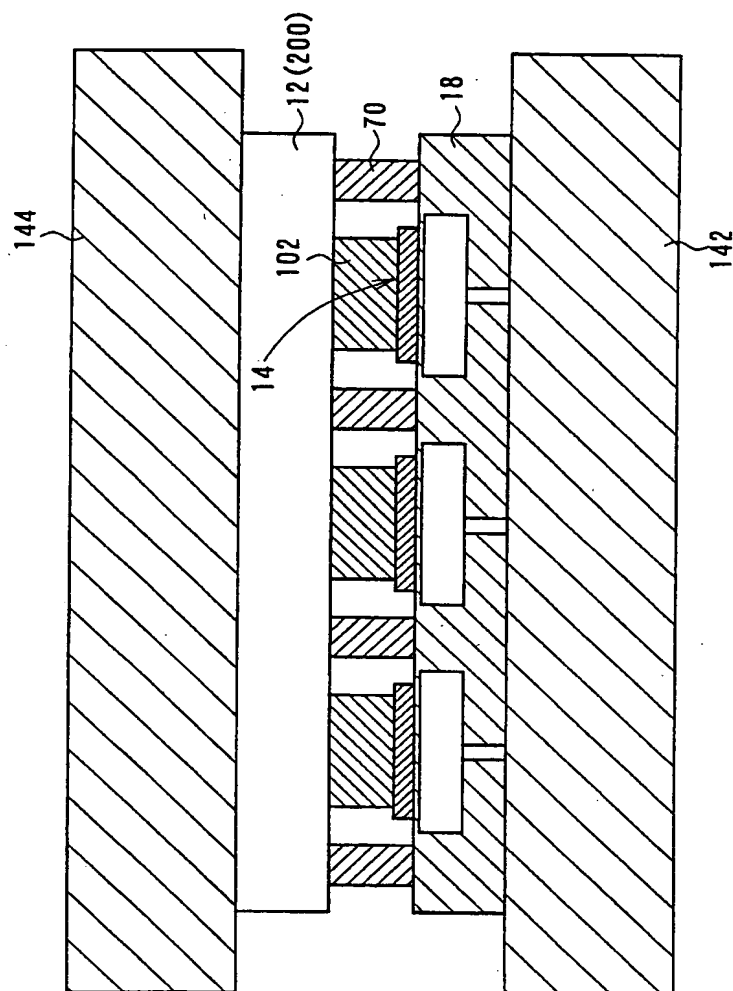


FIG. 31



29/60

FIG. 32A

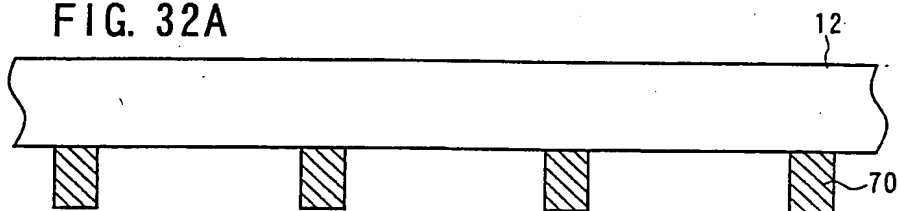


FIG. 32B

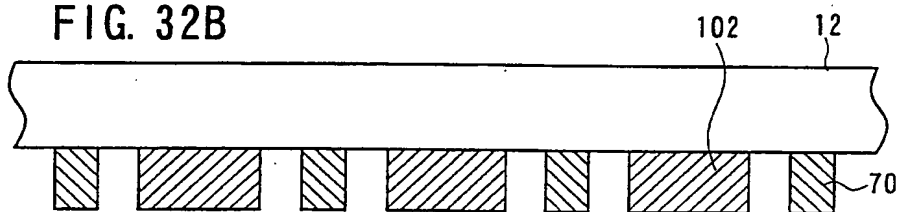


FIG. 32C

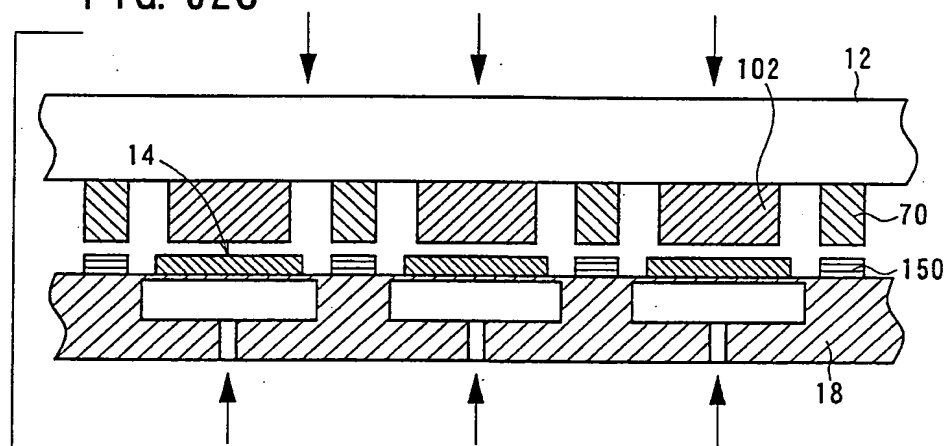
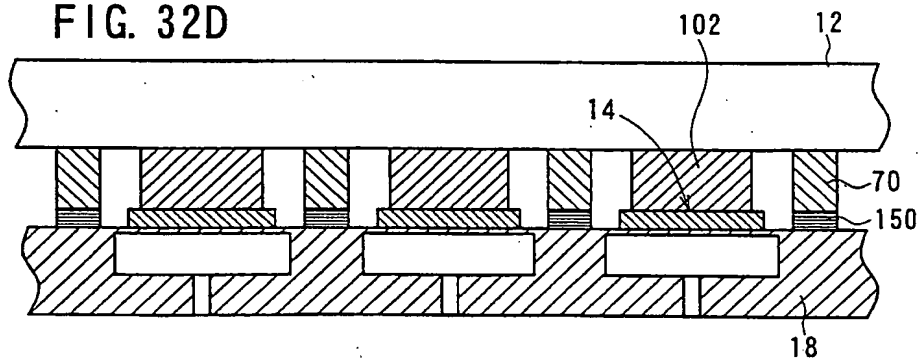


FIG. 32D



30/60

FIG. 33A

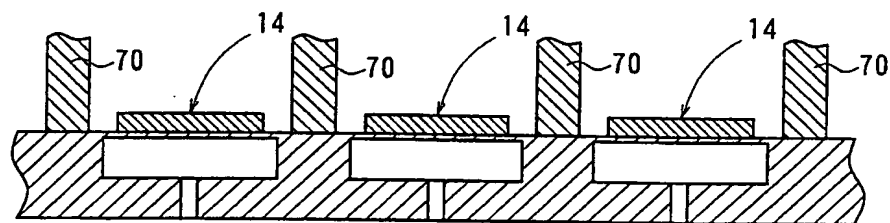


FIG. 33B

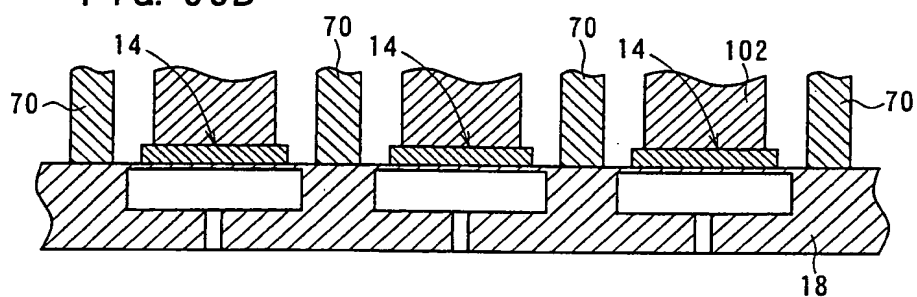
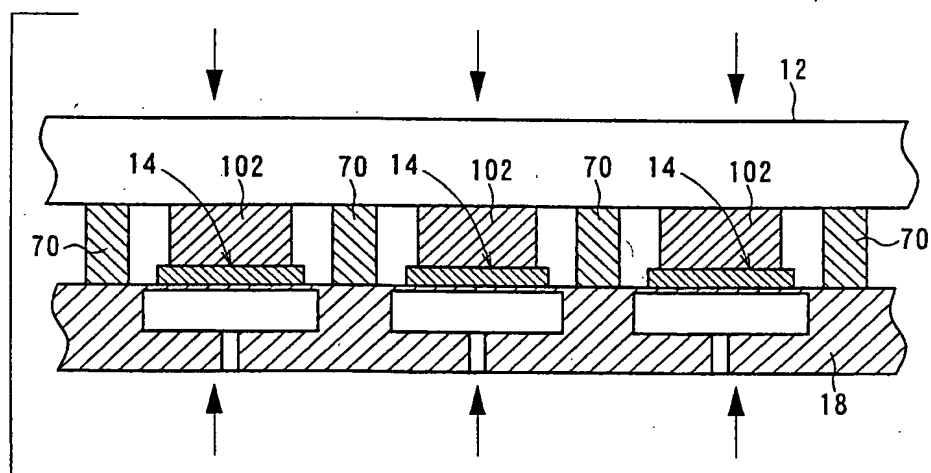
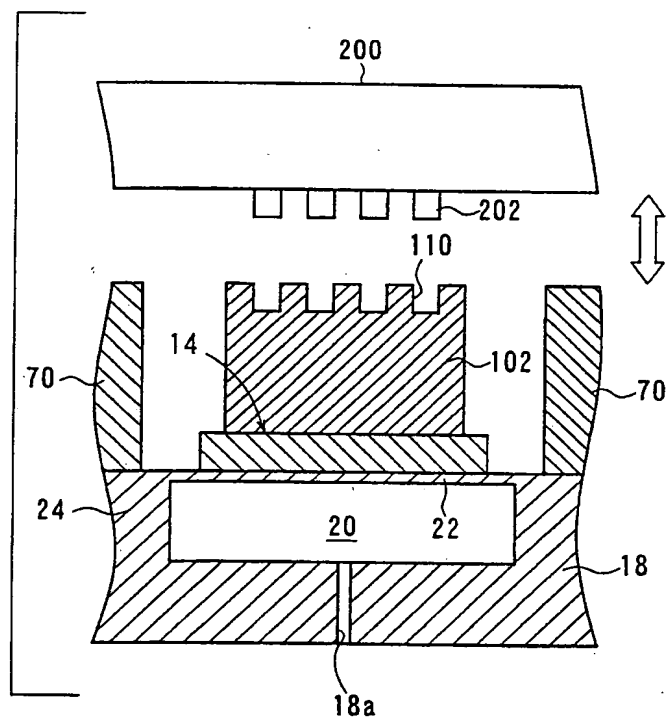


FIG. 33C



31/60

FIG. 34



32/60

FIG. 35

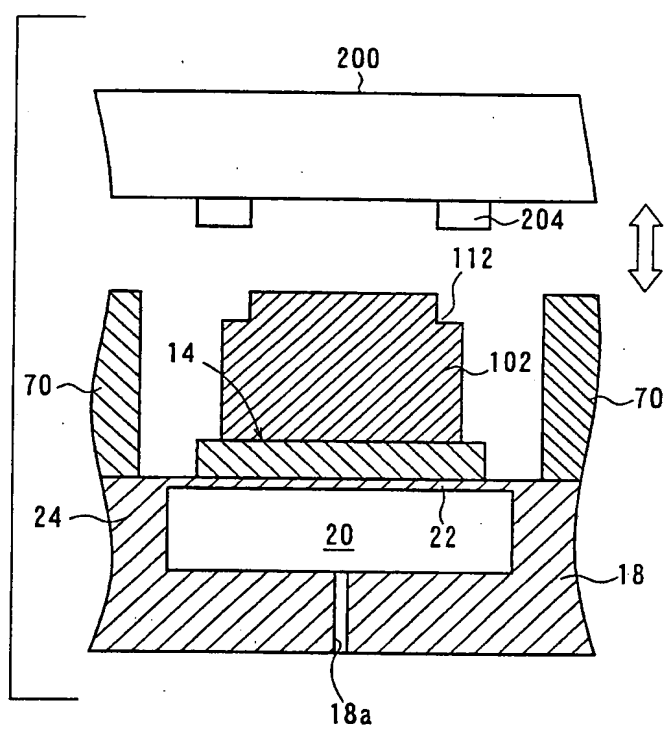


FIG. 36

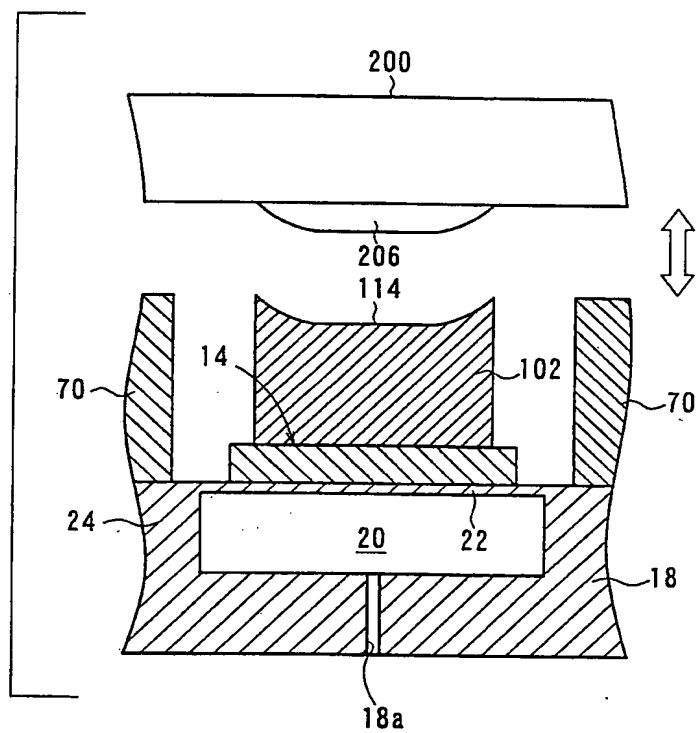
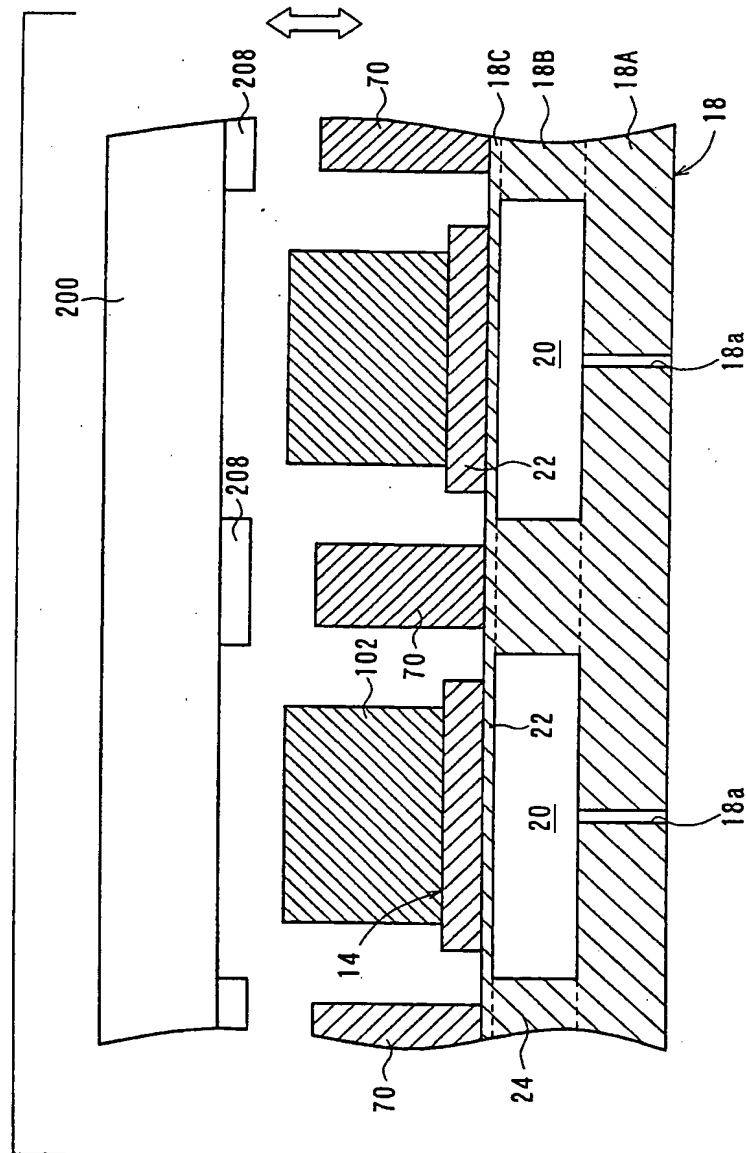


FIG. 37



35/60

FIG. 38A

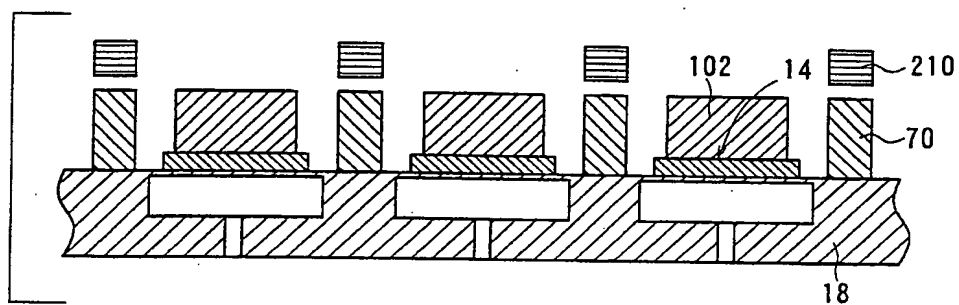
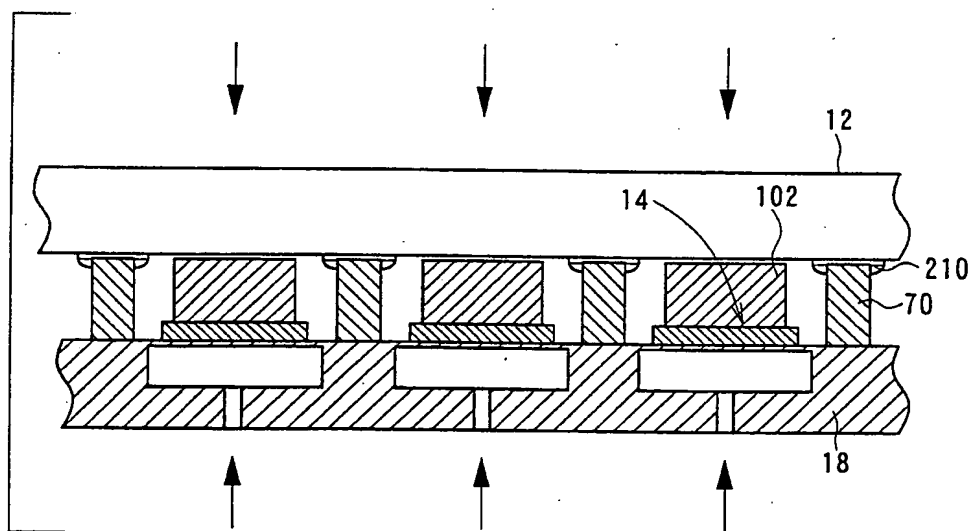


FIG. 38B



36/60

FIG. 39A

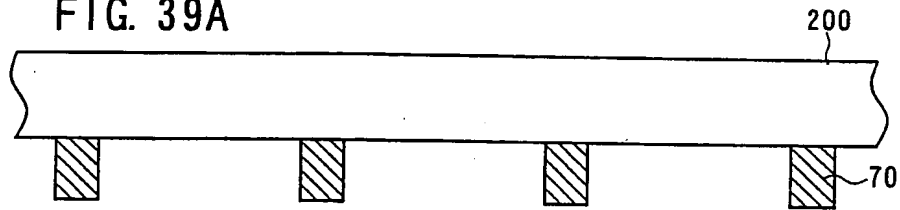


FIG. 39B

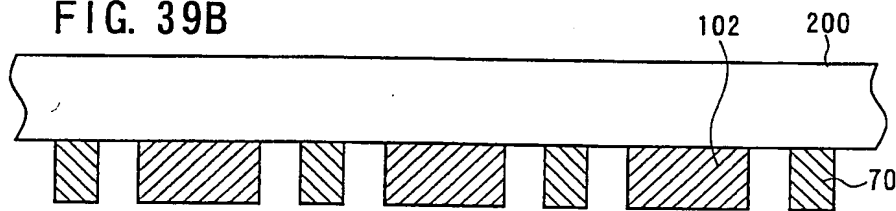


FIG. 39C

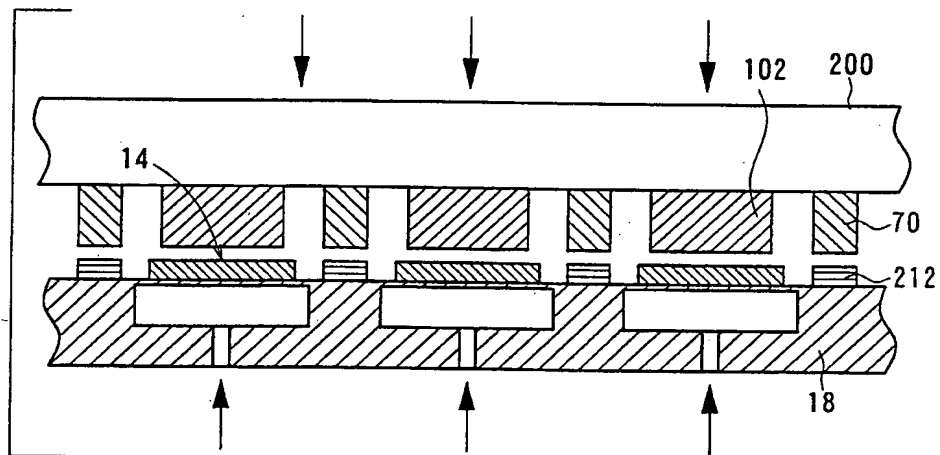
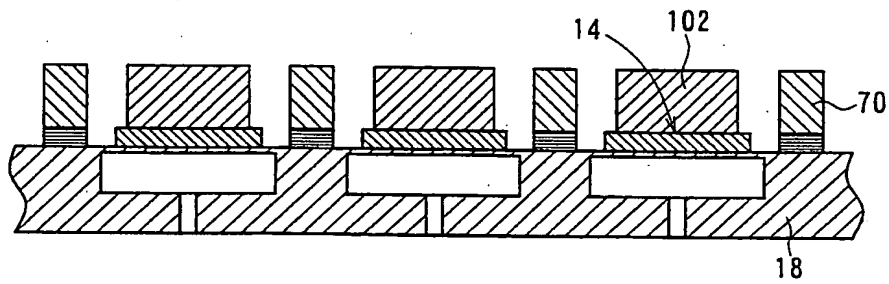


FIG. 39D



37/60

FIG. 40A

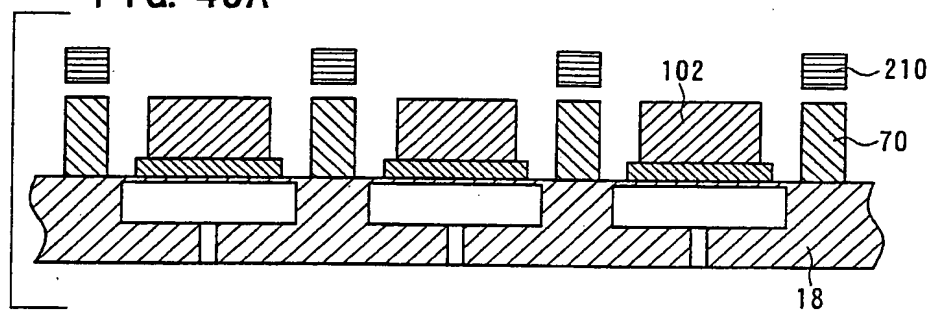
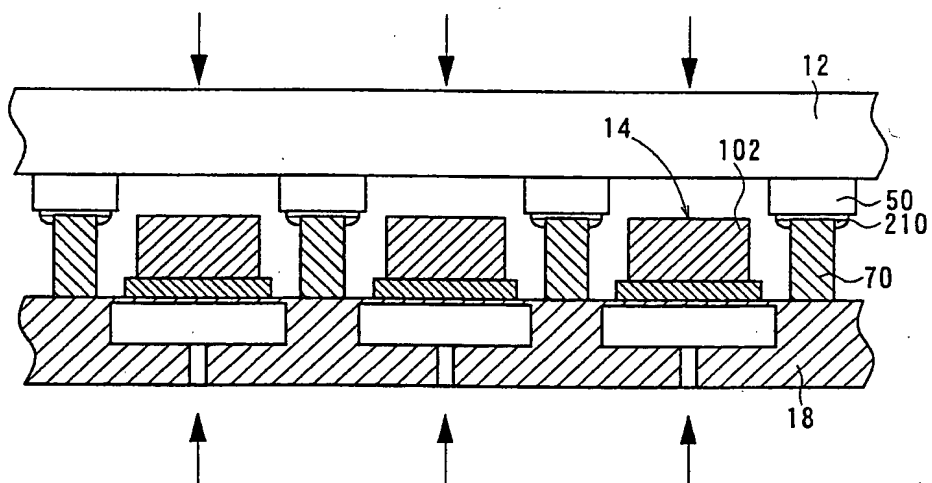


FIG. 40B



38/60

FIG. 41A

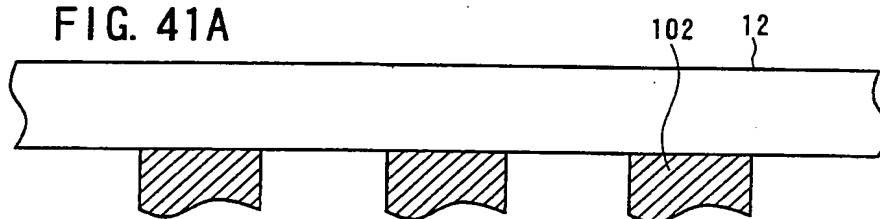


FIG. 41B

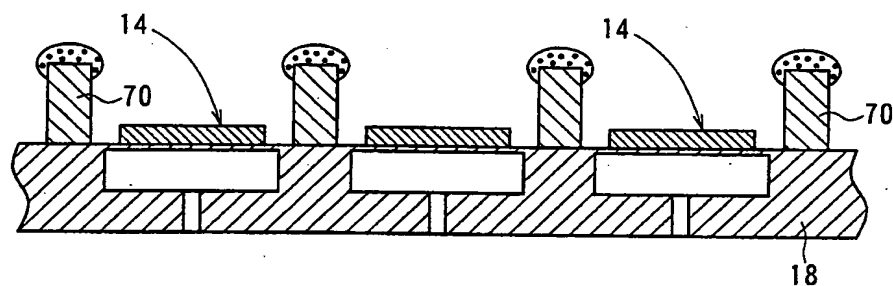


FIG. 41C

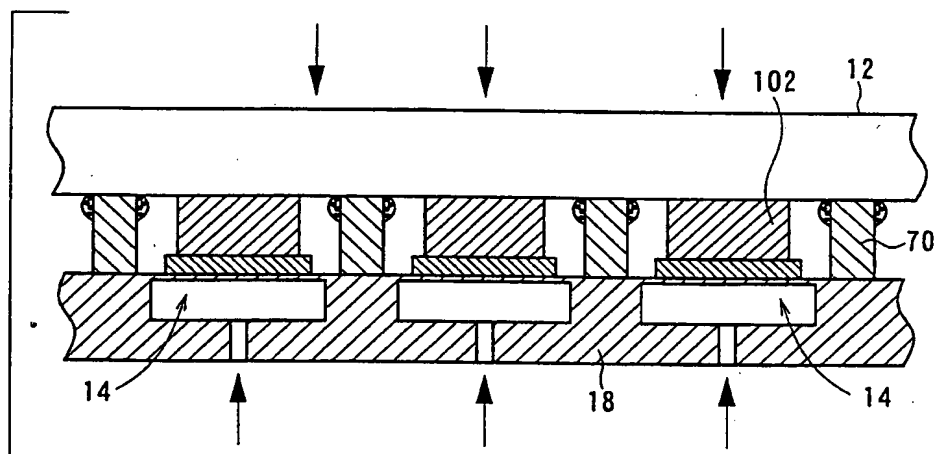


FIG. 42A

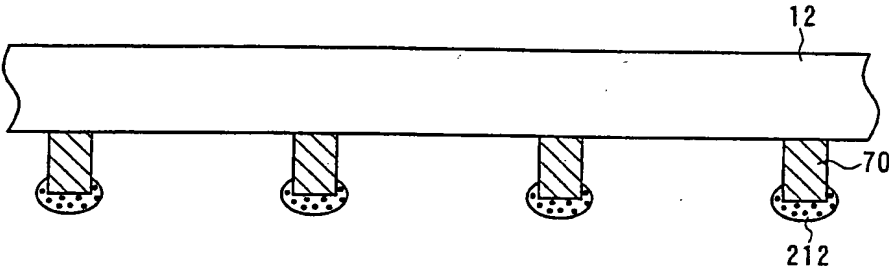


FIG. 42B

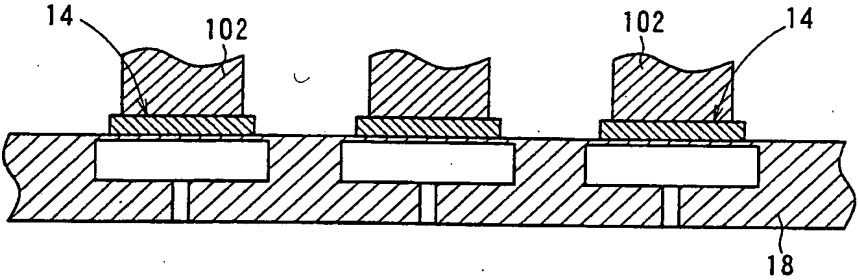
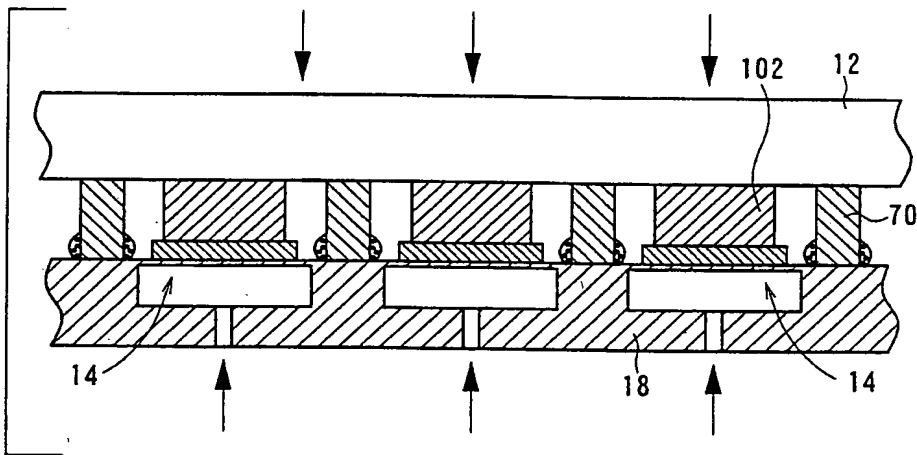


FIG. 42C



40/60

FIG. 43A

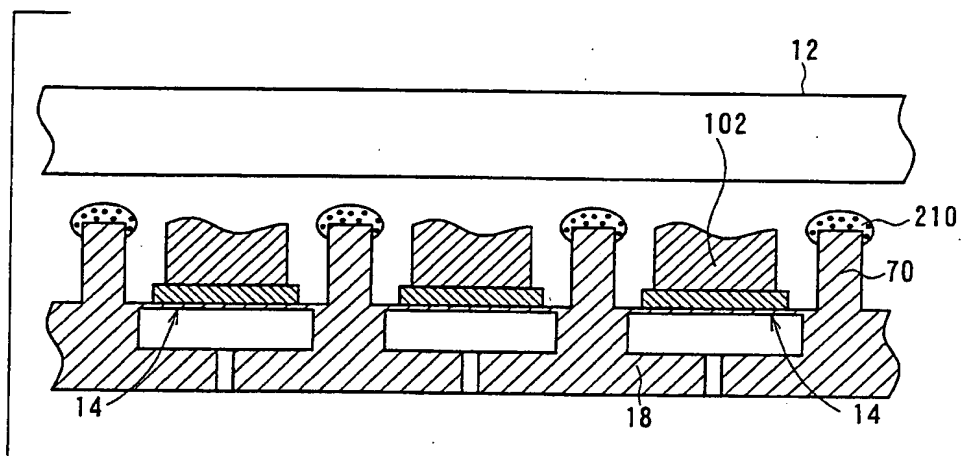
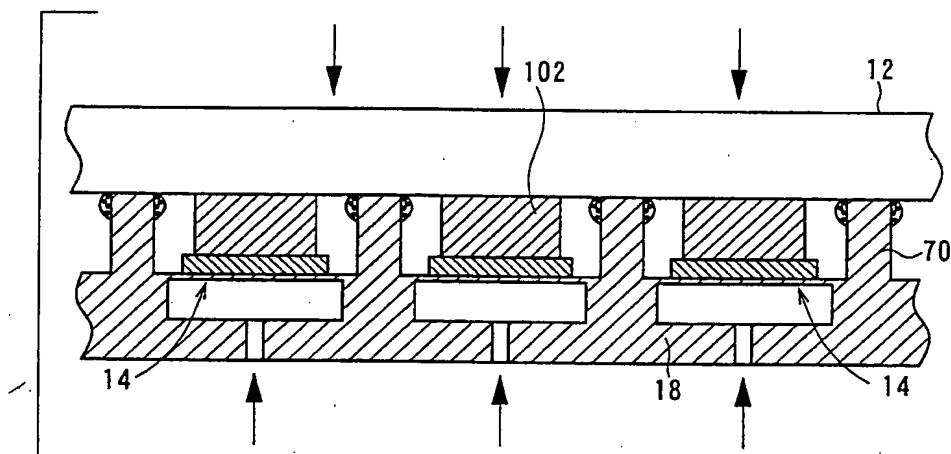


FIG. 43B



41/60

FIG. 44A

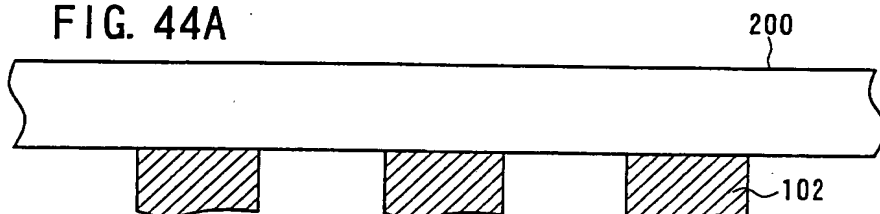


FIG. 44B

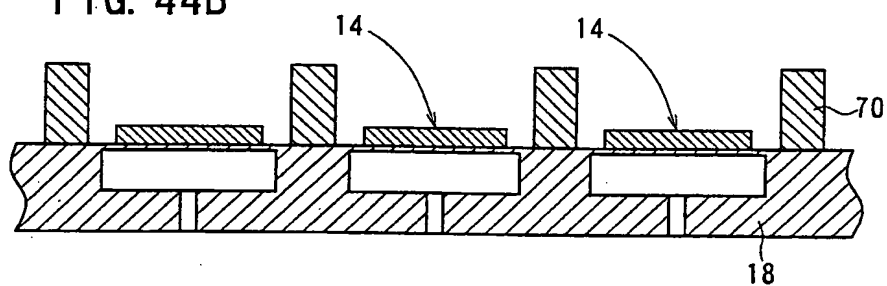


FIG. 44C

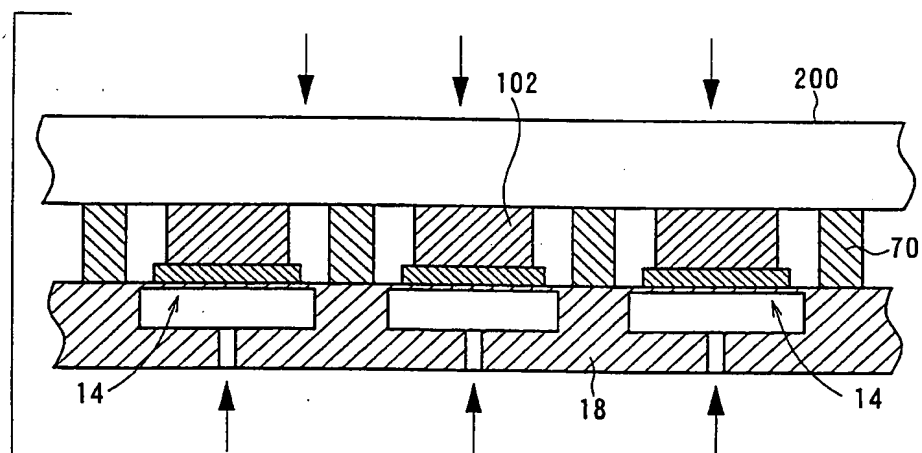


FIG. 45A

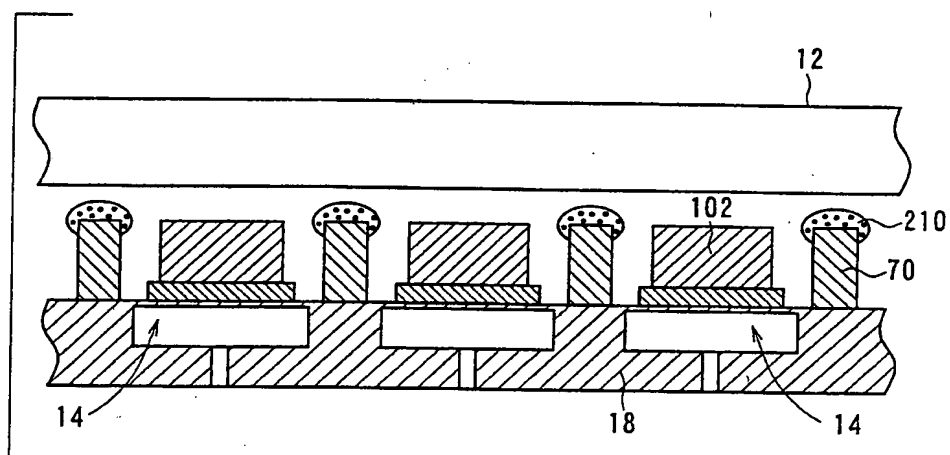
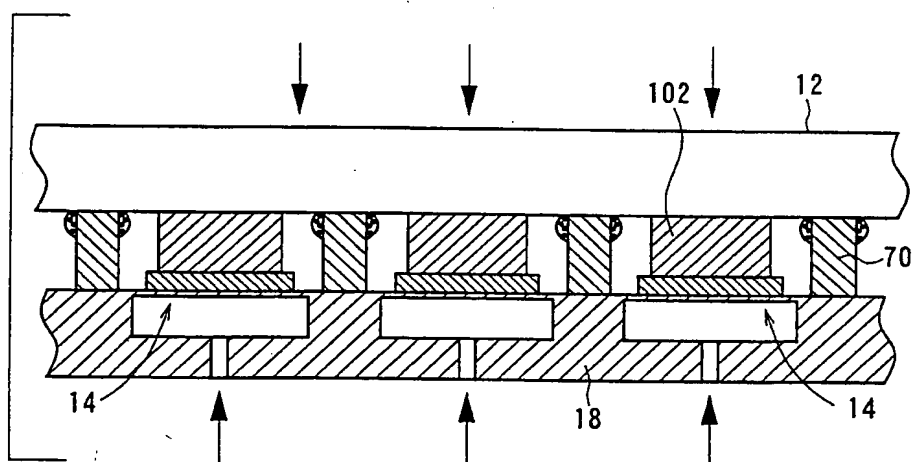


FIG. 45B



43/60

FIG. 46A

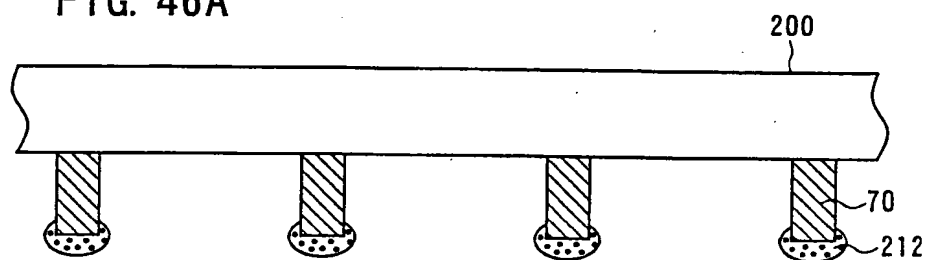


FIG. 46B

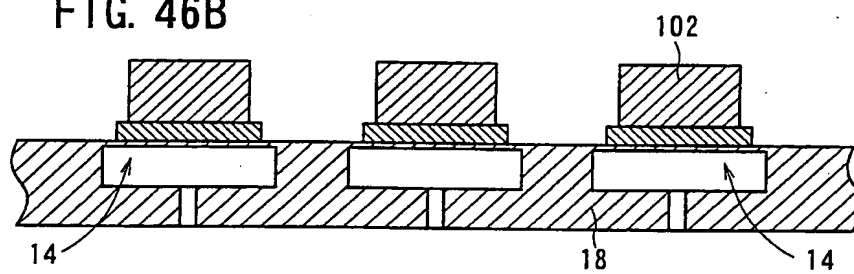
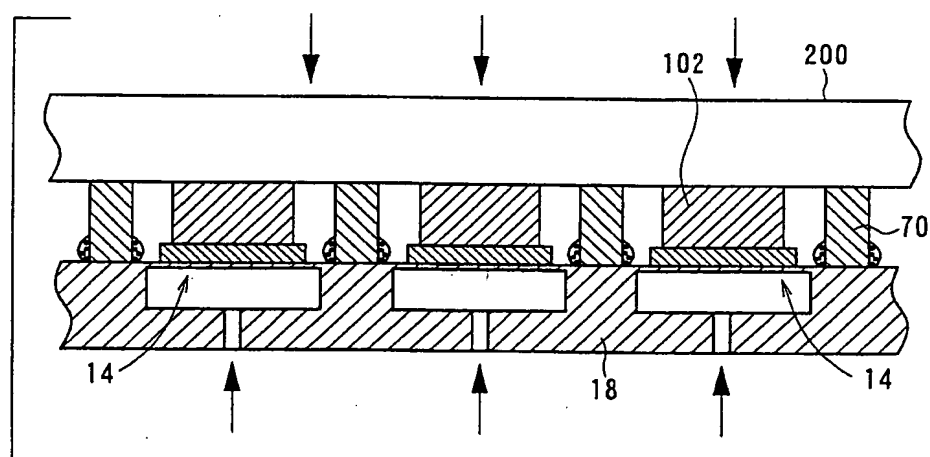


FIG. 46C



44/60

FIG. 47A

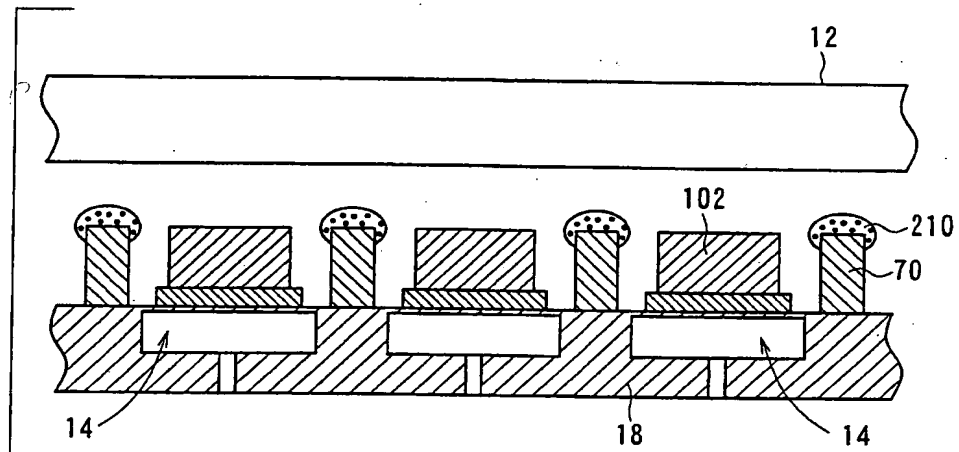


FIG. 47B

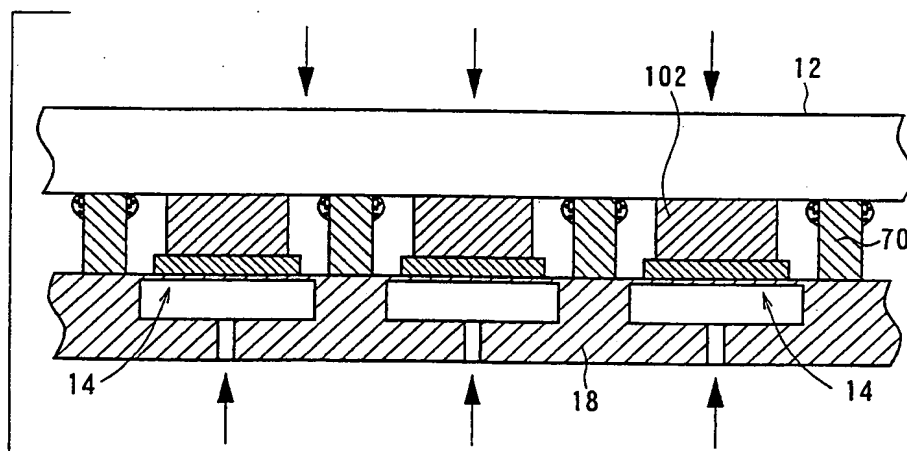


FIG. 48

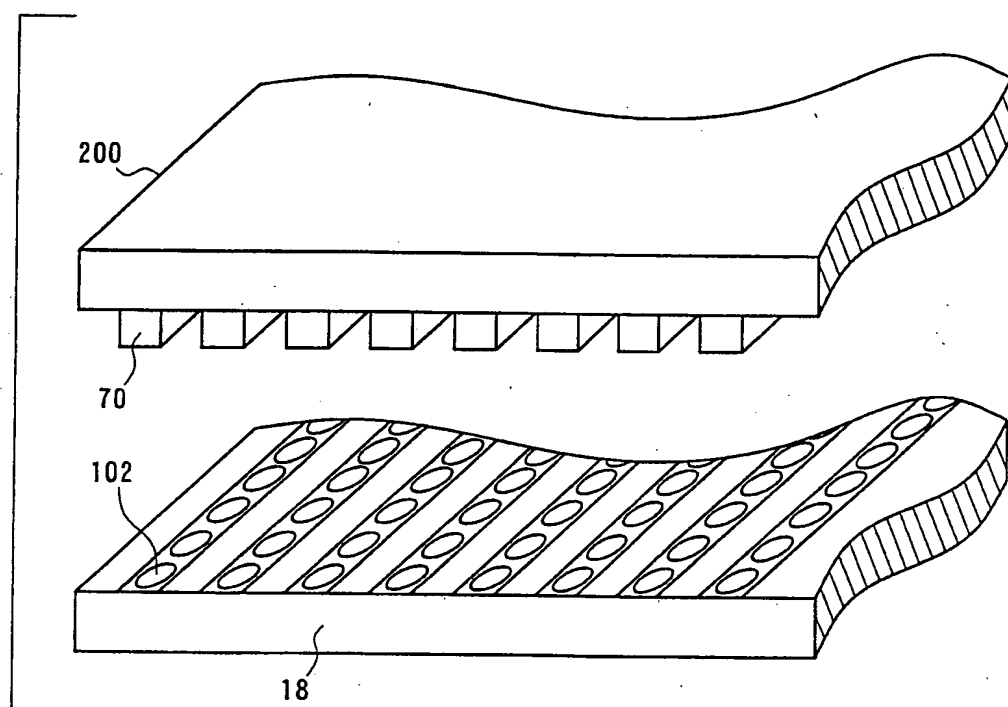


FIG. 49A

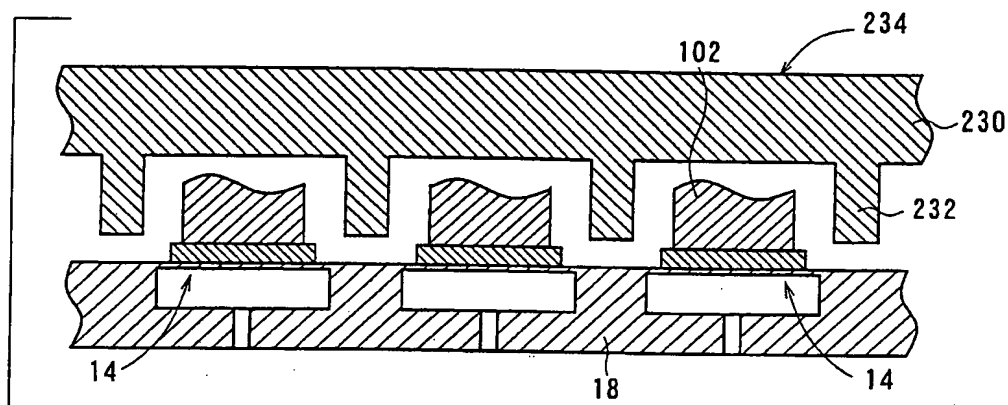


FIG. 49B

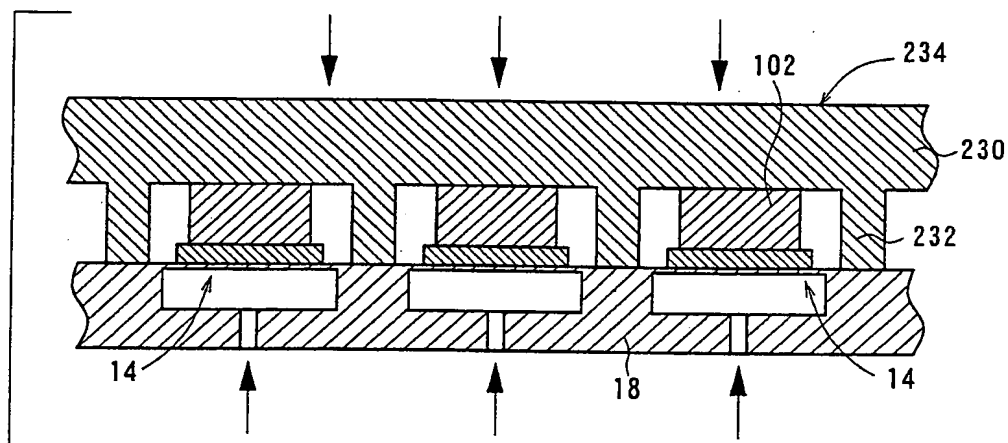


FIG. 49C

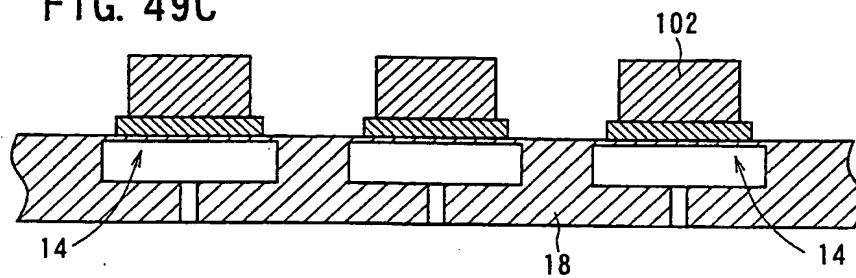


FIG. 50A

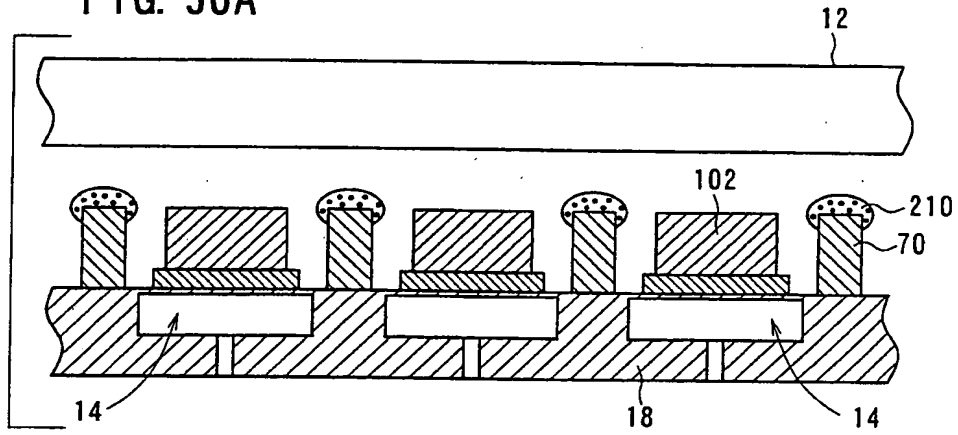


FIG. 50B

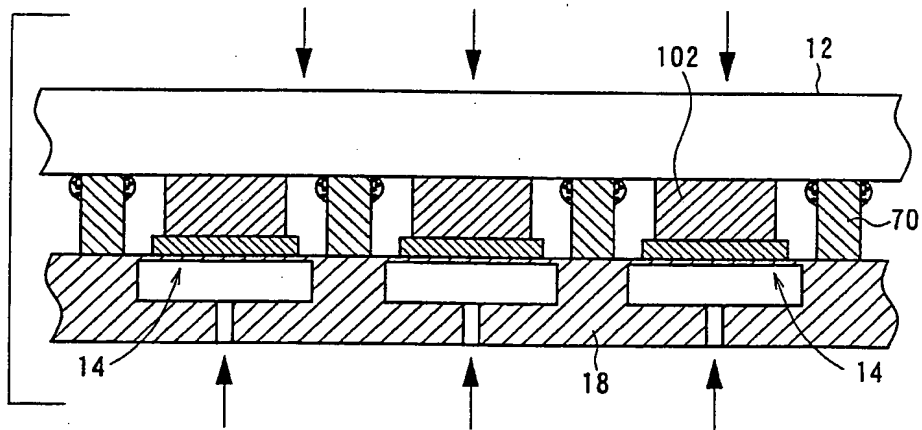


FIG. 51A

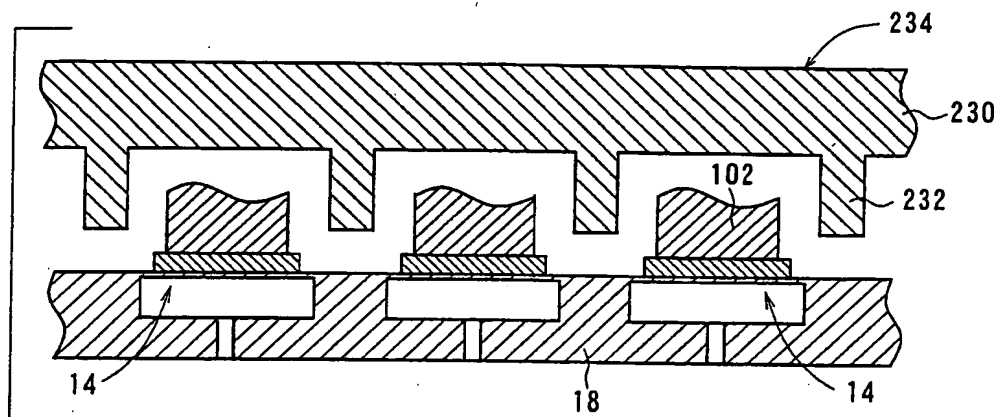


FIG. 51B

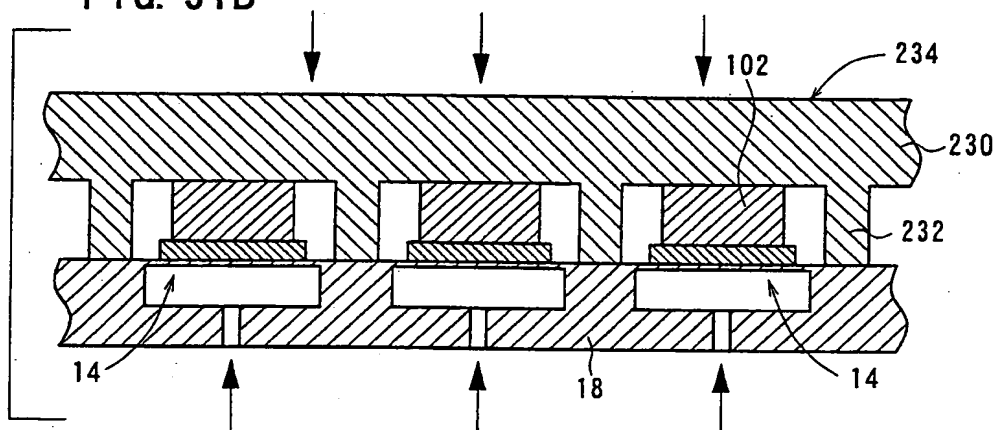
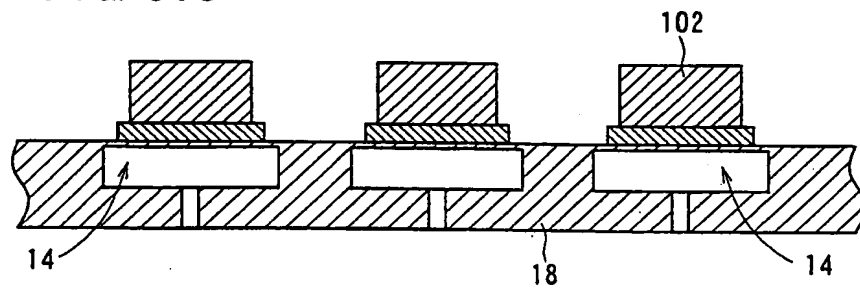


FIG. 51C



49/60

FIG. 52A

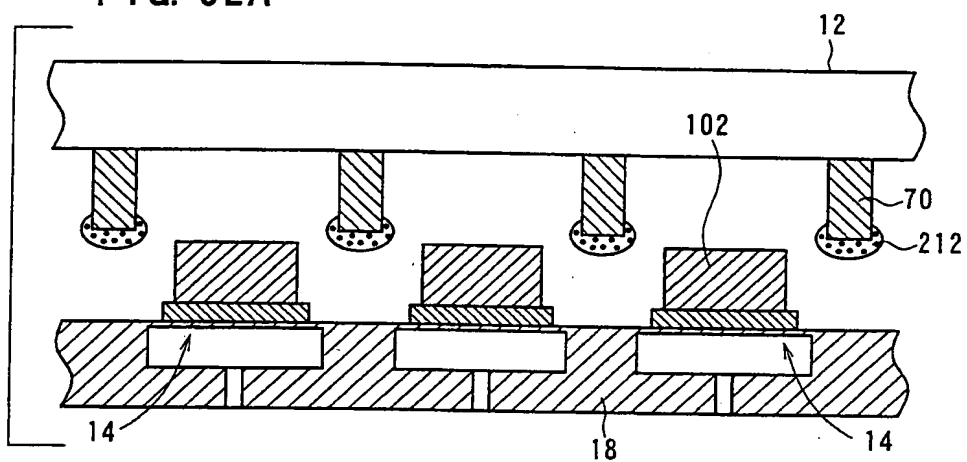
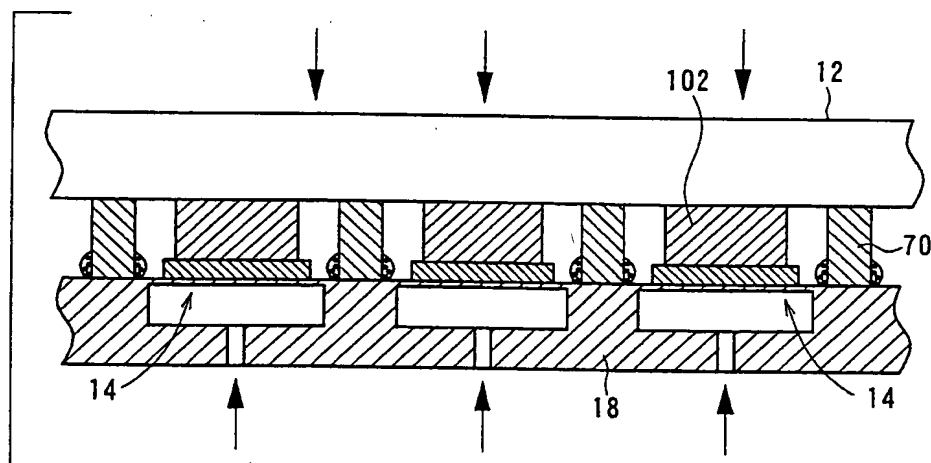


FIG. 52B



50/60

FIG. 53A

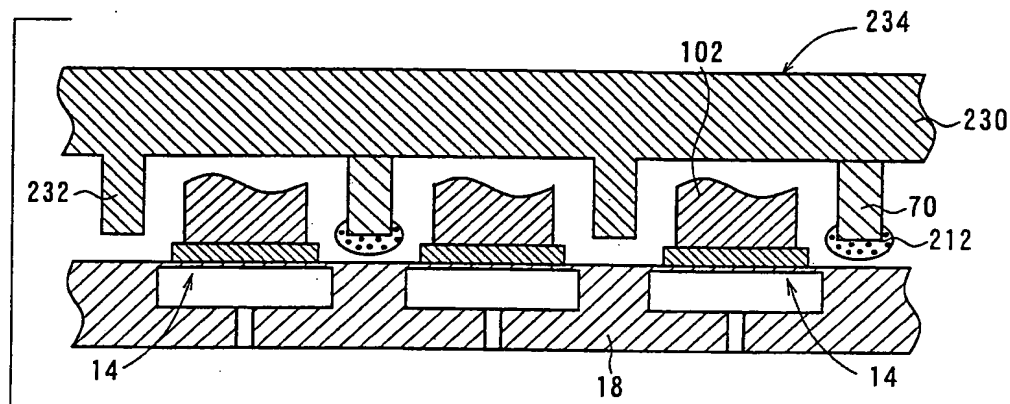


FIG. 53B

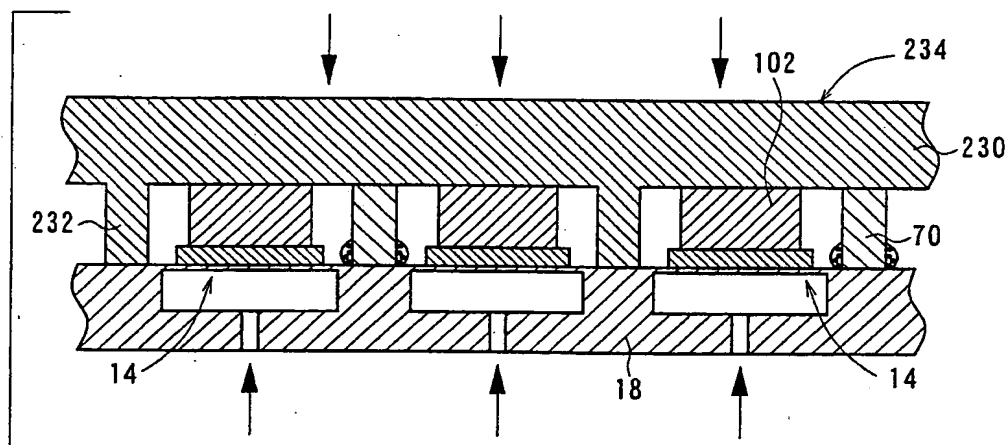
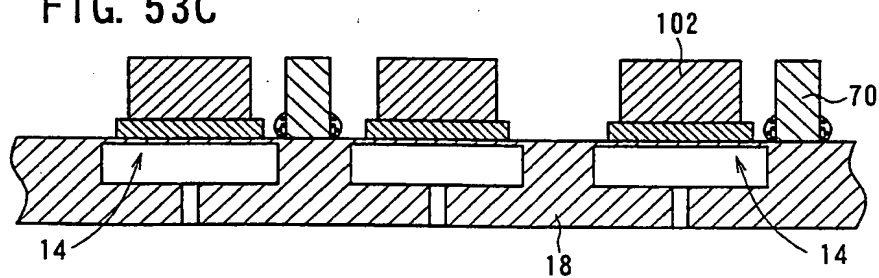


FIG. 53C



51/60

FIG. 54A

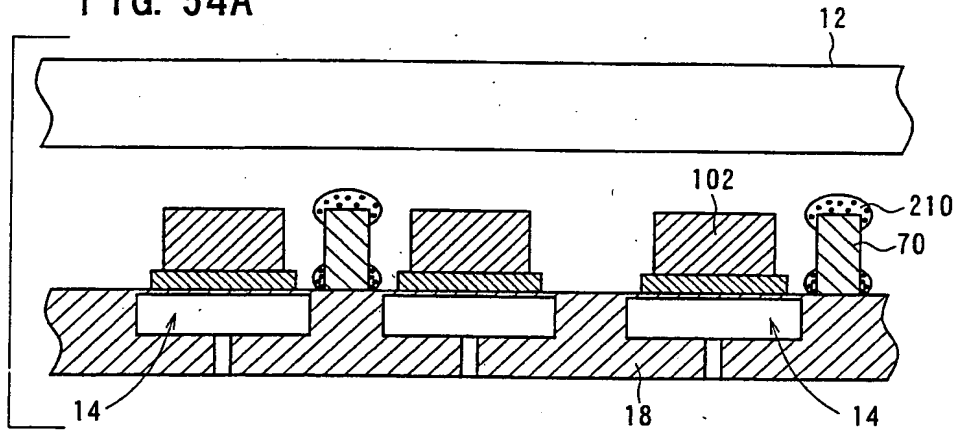


FIG. 54B

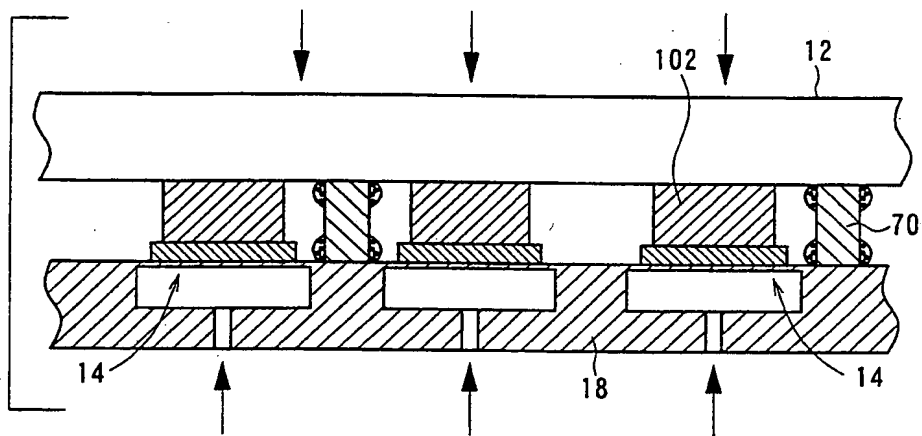


FIG. 55A

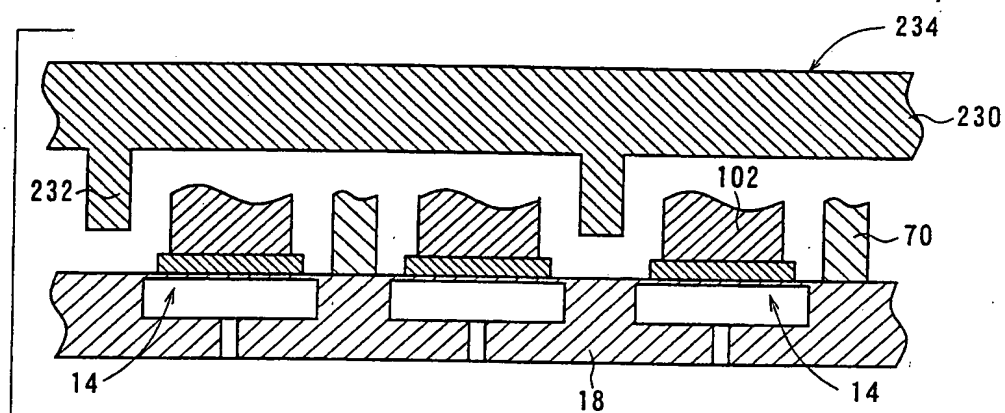


FIG. 55B

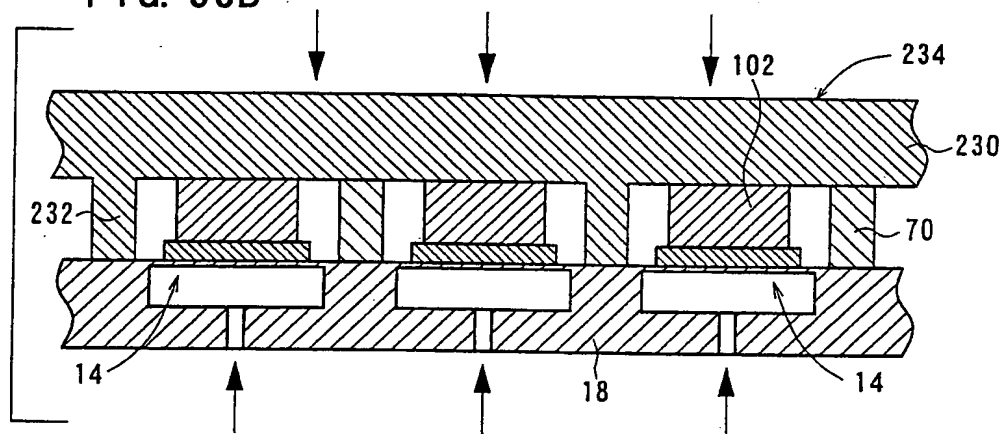
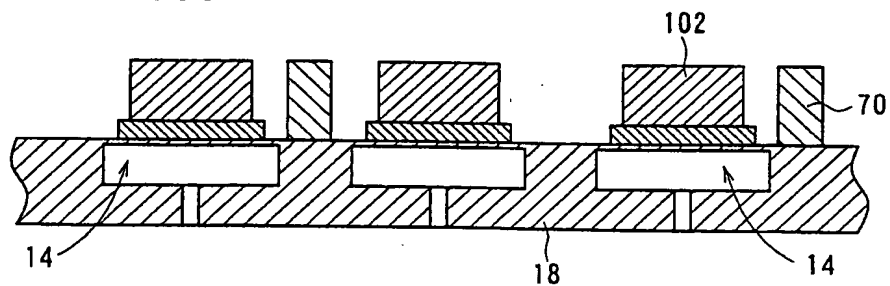


FIG. 55C



53/60

FIG. 56A

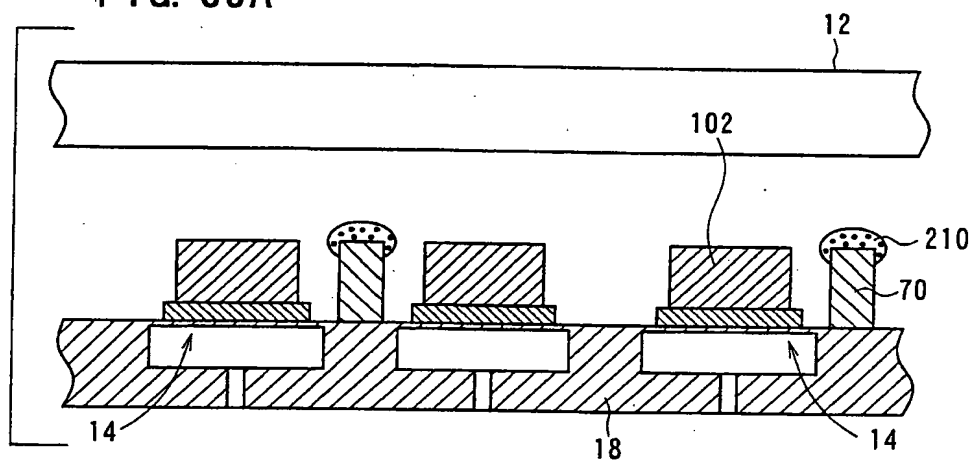
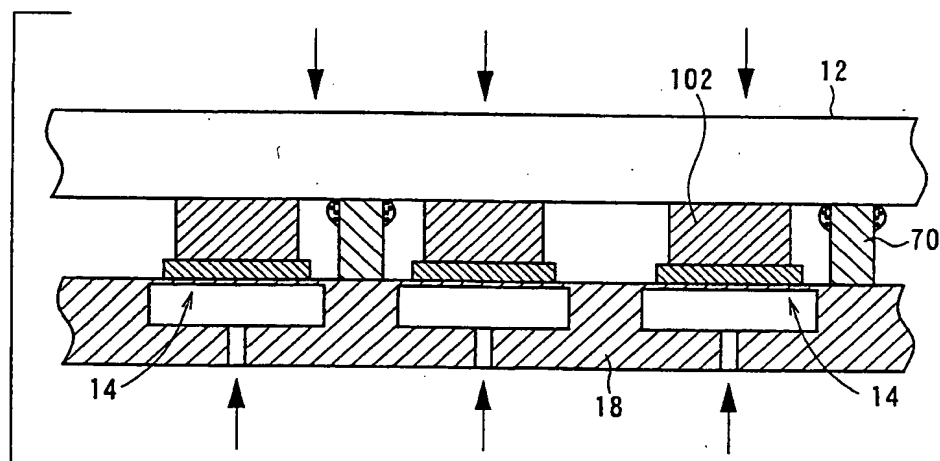


FIG. 56B



54/60

FIG. 57A

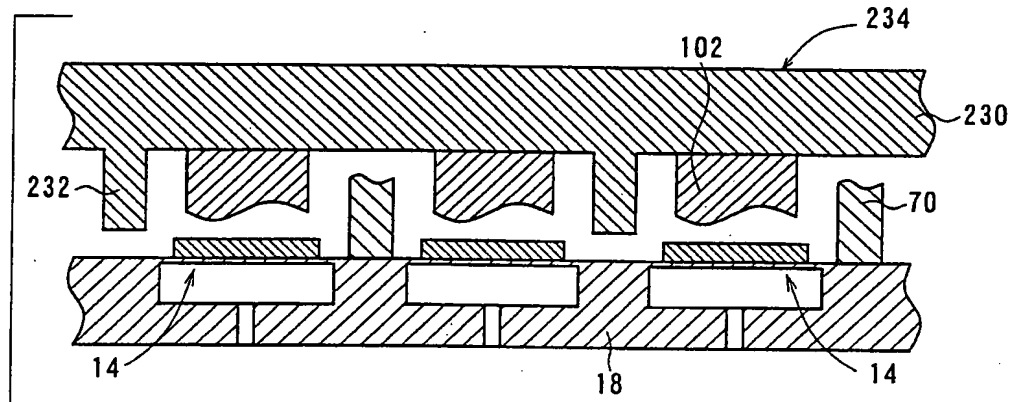


FIG. 57B

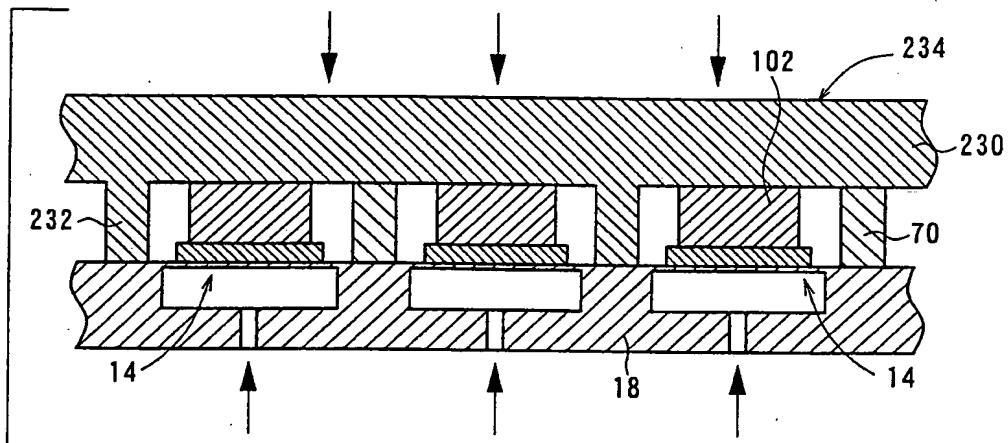


FIG. 57C

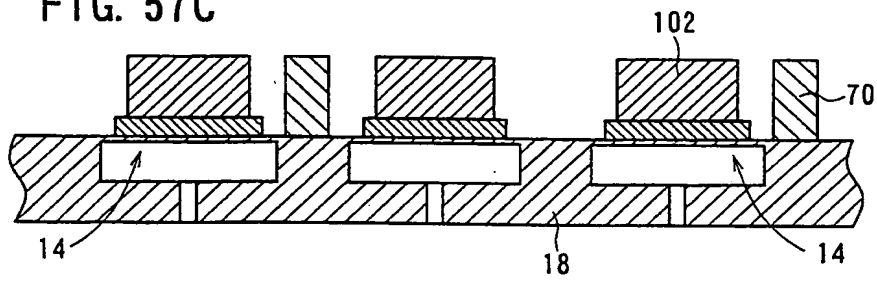


FIG. 58A

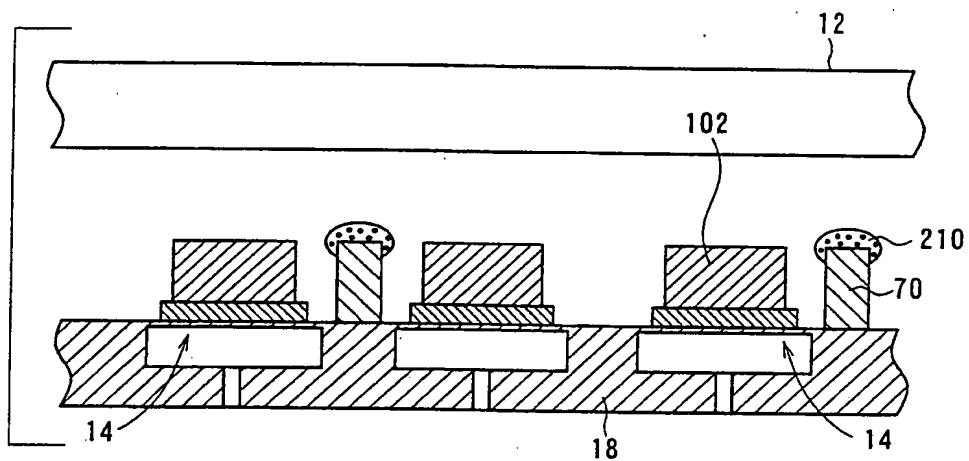


FIG. 58B

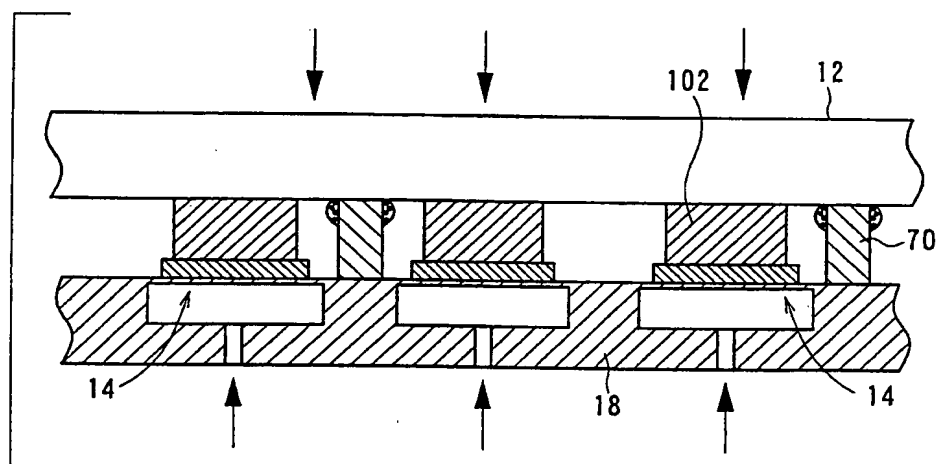


FIG. 59A

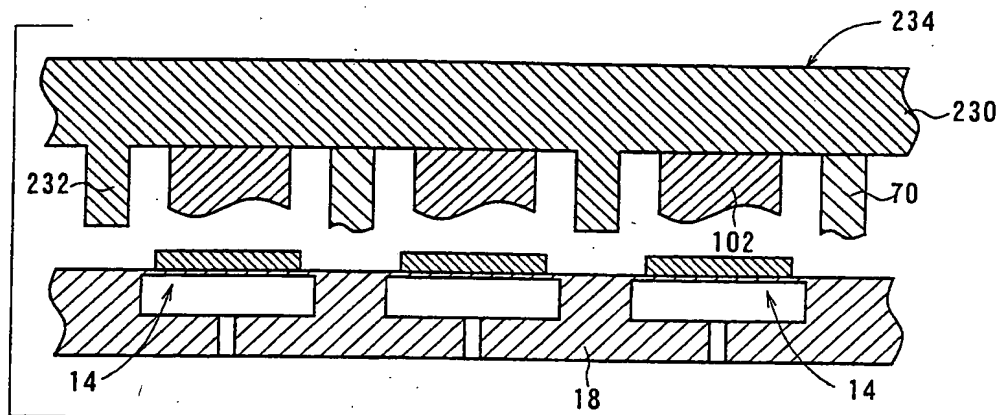


FIG. 59B

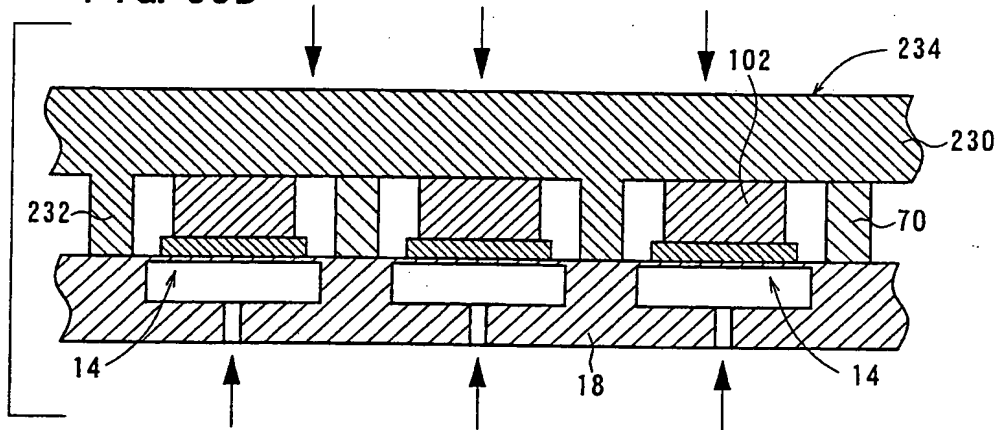
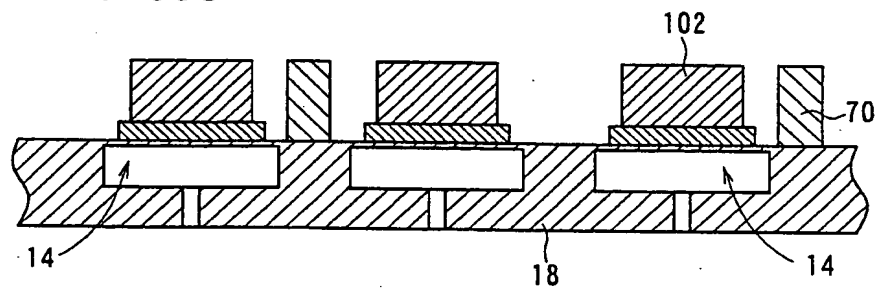


FIG. 59C



57/60

FIG. 60A

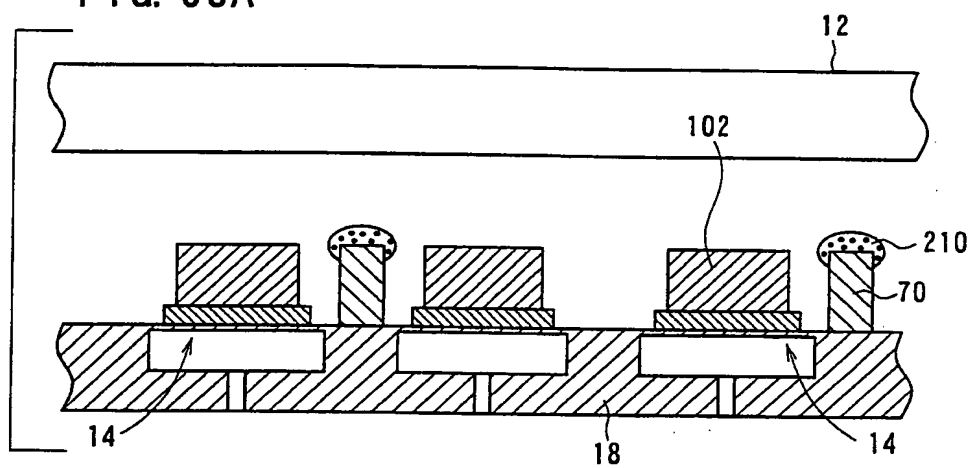
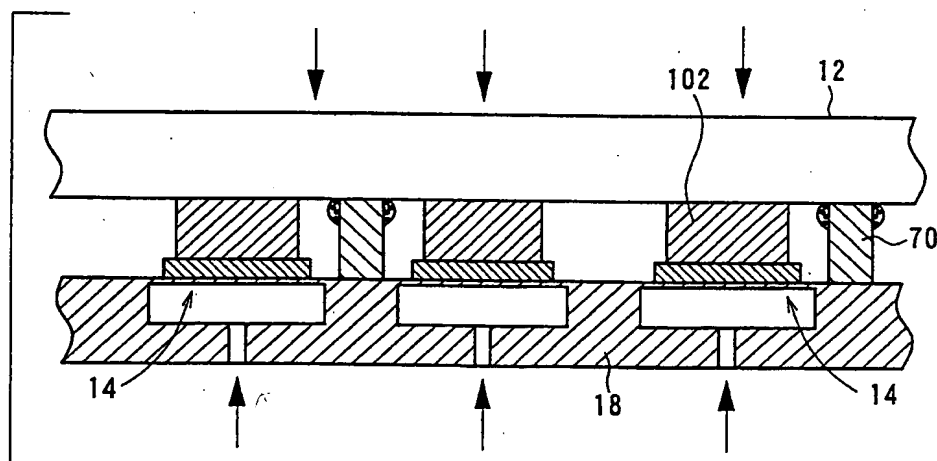


FIG. 60B



58/60

FIG. 61A

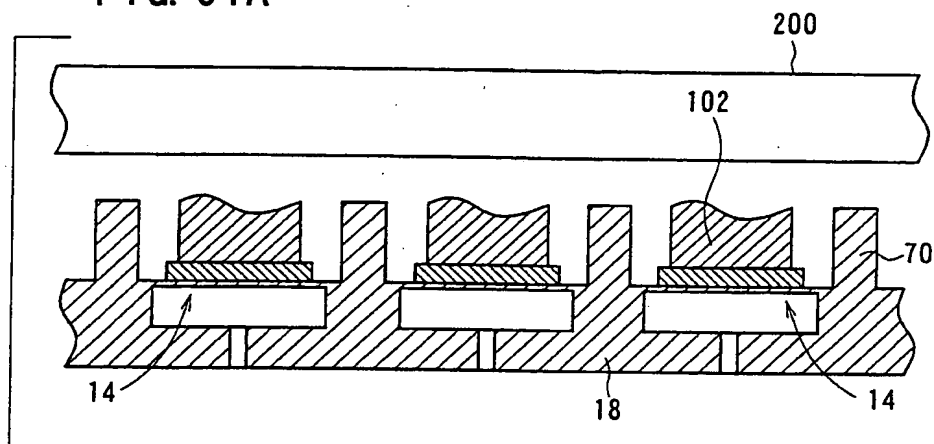
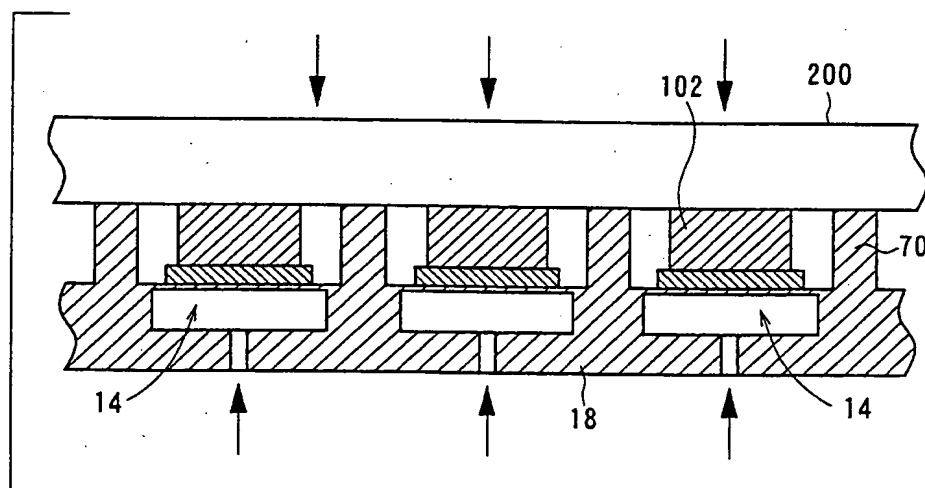


FIG. 62B



59/60

FIG. 62A

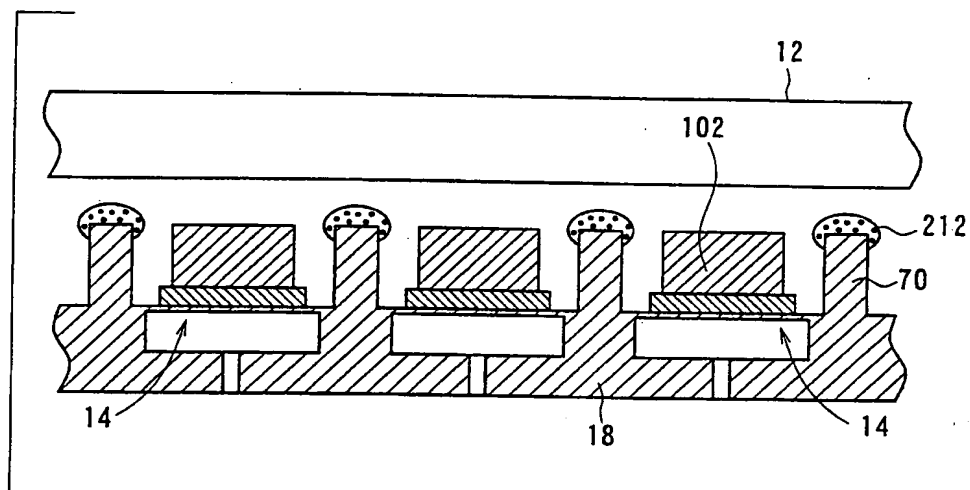


FIG. 62B

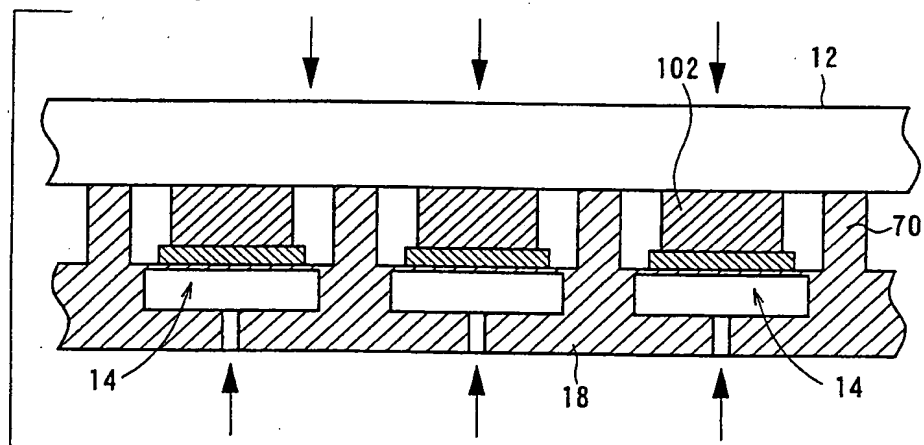
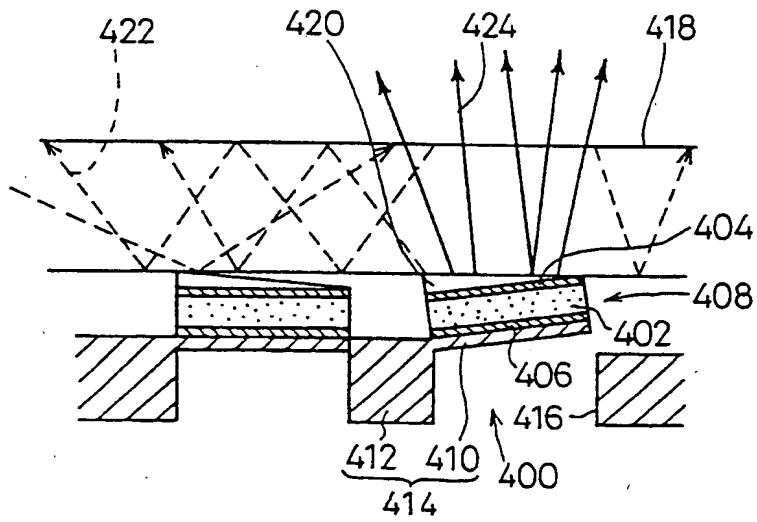


FIG. 63



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP98/05009

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl⁶ G02B26/08, G09F9/30

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
Int.Cl⁶ G02B26/08, G09F9/30

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Jitsuyo Shinan Koho 1926-1996
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-1996

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PA	JP, 10-78549, A (NGK Insulators, Ltd.), 24 March, 1998 (24. 03. 98) & EP, 818700, A2	1-13
A	JP, 54-142089, A (Nippon Telegraph & Telephone Public Corp., et al.), 5 November, 1979 (05. 11. 79) (Family: none)	1-13

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"I" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier document but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search
26 January, 1999 (26. 01. 99)

Date of mailing of the international search report
9 February, 1999 (09. 02. 99)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP98/05009

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl.⁶ G02B26/08, G09F9/30

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
Int.Cl.⁶ G02B26/08, G09F9/30

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Jitsuyo Shinan Koho 1926-1996
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-1996

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PA	JP, 10-78549, A (NGK Insulators, Ltd.), 24 March, 1998 (24. 03. 98) & EP, 818700, A2	1-13
A	JP, 54-142089, A (Nippon Telegraph & Telephone Public Corp., et al.), 5 November, 1979 (05. 11. 79) (Family: none)	1-13

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"I" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier document but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search
26 January, 1999 (26. 01. 99)

Date of mailing of the international search report
9 February, 1999 (09. 02. 99)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer



Facsimile No.

Telephone No.



DISPLAY AND ITS MANUFACTURING METHOD

Patent number: WO9924859
Publication date: 1999-05-20
Inventor: SHIMOGAWA NATSUMI (JP); TAKEUCHI YUKIHISA (JP); AKAO TAKAYOSHI (JP); NANATAKI TSUTOMU (JP)
Applicant: SHIMOGAWA NATSUMI (JP); TAKEUCHI YUKIHISA (JP); AKAO TAKAYOSHI (JP); NANATAKI TSUTOMU (JP); NGK INSULATORS LTD (JP)
Classification:
- **international:** G02B26/08; G09F9/30
- **european:**
Application number: WO1998JP05009 19981106
Priority number(s): JP19970304625 19971106; JP19980232123 19980818

Also published as:

 EP0967507 (A1)
 US6724973 (B1)

Cited documents:

 JP10078549
 JP54142089

Abstract of WO9924859

A display has an optical waveguide plate (12) which light enters, an actuator substrate (18) which is opposed to one of the plate surfaces of the optical waveguide plate (12) and on which actuators (14) the number of which corresponds to the number of pixels, pixel structures (102) formed on the actuators (14), and crosspieces (70) provided between the optical waveguide plate (12) and the actuator substrate (18) in the areas other than the pixel structures (102). The gaps between the optical waveguide plate and the pixel structures can be defined easily and uniformly over all the pixels.

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

DISPLAY AND ITS MANUFACTURING METHOD

Description of correspondent: EP0967507

TECHNICAL FIELD

[0001] The present invention relates to a display device which consumes less electric power, and which has large screen brightness. In particular, the present invention relates to improvement in the display device for displaying a picture image corresponding to an image signal on an optical waveguide plate by controlling leakage light at a predetermined position on the optical waveguide plate by controlling the displacement action of an actuator element in a direction to make contact or separation with respect to the optical waveguide plate in accordance with the attribute of the image signal to be inputted. The present invention also relates to a method for producing the display device.

BACKGROUND ART

[0002] Those hitherto known as the display device include, for example, cathode ray tubes (CRT) and liquid crystal display devices.

[0003] Those known as the cathode ray tube include, for example, ordinary television receivers and monitor units for computers. Although the cathode ray tube has a bright screen, it consumes a large amount of electric power. Further, the cathode ray tube involves a problem that the depth of the entire display device is large as compared with the size of the screen.

[0004] On the other hand, the liquid crystal display device is advantageous in that the entire device can be miniaturized, and the display device consumes a small amount of electric power. However, the liquid crystal display device involves problems that it is inferior in brightness of the screen, and the field angle of the screen is narrow.

[0005] In the case of the cathode ray tube and the liquid crystal display device, it is necessary for a color screen to use a number of pixels which is three times a number of pixels used in a black-and-white screen. For this reason, other problems occur in that the device itself is complicated, a great deal of electric power is consumed, and it is inevitable to cause the increase in cost.

[0006] In order to solve the problems described above, the present applicant has suggested a novel display device (see, for example, Japanese Laid-Open Patent Publication No. 7-287176). As shown in FIG. 63, this display device includes actuator elements 400 arranged for respective pixels. Each of the actuator elements 400 comprises a main actuator element 408 including a piezoelectric/electrostrictive layer 402 and an upper electrode 404 and a lower electrode 406 formed on upper and lower surfaces of the piezoelectric/electrostrictive layer 402 respectively, and an actuator substrate 414 including a vibrating section 410 and a fixed section 412 disposed under the main actuator element 408. The lower electrode 406 of the main actuator element 408 contacts with the vibrating section 410. The main actuator element 408 is supported by the vibrating section 410.

[0007] The actuator substrate 414 is composed of ceramics in which the vibrating section 410 and the fixed section 412 are integrated into one unit. A recess 416 is formed in the actuator substrate 414 so that the vibrating section 410 is thin-walled.

[0008] A displacement-transmitting section 420 for obtaining a predetermined size of contact area with respect to an optical waveguide plate 418 is connected to the upper electrode 404 of the main actuator element 408. In the illustrative display device shown in FIG. 63, the displacement-transmitting section 420 is arranged such that it is located closely near to the optical waveguide plate 418 in the OFF selection state or the NO selection state in which the actuator element 400 stands still, while it contacts with the optical waveguide plate 418 in the ON selection state at a distance of not more than the wavelength of the light.

[0009] The light 422 is introduced, for example, from a lateral end of the optical waveguide plate 418. In this arrangement, all of the light 422 is totally reflected at the inside of the optical waveguide plate 418 without being transmitted through front and back surfaces thereof by controlling the magnitude of the refractive index of the optical waveguide plate 418. In this state, a voltage signal corresponding to an attribute of an image signal is selectively applied to the actuator element 400 by the aid of the upper electrode 404 and the lower electrode 406 so that the actuator element 400 is allowed to make a variety of displacement actions in conformity with the ON selection, the OFF selection, and the NO selection. Thus, the displacement-transmitting section 420 is controlled for its contact and separation with respect to the

optical waveguide plate 418. Accordingly, the scattered light (leakage light) 424 is controlled at a predetermined portion of the optical waveguide plate 418, and a picture image corresponding to the image signal is displayed on the optical waveguide plate 418.

[0010] When a color picture is displayed by using the display device, the following operation is performed. That is, for example, light sources for three primary colors are switched to control the light emission time for three primary colors, while synchronizing the contact time between the optical waveguide plate and the displacement-transmitting plate with the period of color development. Alternatively, the contact time between the optical waveguide plate and the displacement-transmitting plate is controlled, while synchronizing the light emission time for three primary colors with the color development period.

[0011] Therefore, the illustrative display device suggested by the present applicant is advantageous in that it is unnecessary to increase the number of pixels as compared with the black-and-white screen, even when the display device is applied to the color display system.

[0012] An object of the present invention is to provide a display device and a method for producing the same to exhibit the following effects, by improving the arrangement of the illustrative display device suggested by the present applicant.

- (1) The clearance (gap) can be easily formed between the optical waveguide plate and the pixel structure, and the gap can be formed uniformly for all of the pixels.
- (2) The size of the gap can be easily controlled.
- (3) The adhesion of the pixel structure to the optical waveguide plate can be avoided, and it is possible to effectively realize a high response speed.
- (4) The contact surface of the pixel structure (contact surface with respect to the optical waveguide plate) can be formed to be smooth so that the light is efficiently introduced into the pixel structure when the predetermined pixel structure makes contact with the optical waveguide plate.
- (5) It is possible to ensure the response speed of the pixel.
- (6) It is possible to obtain the uniform brightness for all of the pixels.
- (7) It is possible to improve the brightness of the pixel.

DISCLOSURE OF THE INVENTION

[0013] According to the present invention, there is provided a display device comprising an optical waveguide plate for introducing light thereinto; an actuator substrate provided opposingly to one plate surface of the optical waveguide plate and arranged with actuator elements of a number corresponding to a large number of pixels; a pixel structure formed on each of the actuator elements of the actuator substrate; and a crosspiece formed at a portion other than the pixel structure between the optical waveguide plate and the actuator substrate (invention as defined in claim 1).

[0014] According to the present invention, all of the light, which is introduced, for example, from a lateral end of the optical waveguide plate, is totally reflected at the inside of the optical waveguide plate without being transmitted through front and back surfaces thereof by controlling the magnitude of the refractive index of the optical waveguide plate. In this state, when the displacement-transmitting section approaches the optical waveguide plate in accordance with the displacement action of the actuator section, the light, which has been subjected to total reflection, is reflected by the pixel structure, and it behaves as scattered light. A part of the scattered light is reflected again in the optical waveguide plate. However, almost all of the scattered light is transmitted through the front surface of the optical waveguide plate without being reflected by the optical waveguide plate.

[0015] The arrangement described above is illustrative of the case in which the pixel structure is displaced in the direction to make approach to the optical waveguide plate in accordance with the displacement action of the actuator element. Alternatively, the present invention is also applicable to the case in which the pixel structure is displaced in the direction to make separation from the optical waveguide plate in accordance with the displacement action of the actuator element.

[0016] As described above, the presence or absence of light emission (leakage light) at the front surface of the optical waveguide plate can be controlled in accordance with the approach and separation of the pixel structure disposed at the back of the optical waveguide plate, with respect to the optical waveguide plate. In this arrangement, for example, one unit for allowing the pixel structure to make displacement action in the direction to make the approach or separation with respect to the optical waveguide plate may be regarded as one pixel. A picture image (for example, characters and graphics) corresponding to the image signal can be displayed on the front surface of the optical waveguide plate in the same manner as in the cathode ray tube and the liquid crystal display device, by arranging a large number of the pixels in a matrix form, and controlling the displacement action of each of the pixels in accordance with the attribute of the inputted image signal.

[0017] When the display device of the present invention is applied to the color display system, the following arrangement may be adopted, for example, in relation to the color scheme of the color layers (for example, three primary color filters, complementary color filters, or color scattering elements) disposed for the pixel structures. That is, for example, one pixel may be constructed by three pixel structures adjacent to one another (RGB arrangement) or by four pixel structures adjacent to one another (for example, checked arrangement).

[0018] It is noted that the display device according to the present invention comprises the crosspiece formed at the portions other than the pixel structures between the optical waveguide plate and the actuator substrate.

[0019] If the optical waveguide plate and the actuator substrate are fixed by using only the circumferential edge of the screen without providing any crosspiece, the vibration occurs in the actuator substrate due to the movement of the actuator element. Every time when the vibration occurs, the displacement standard is changed. As a result, the ON/OFF operation of the pixel does not correspond to the displacement of the actuator element in some cases.

[0020] However, in the present invention, the crosspiece is provided as described above. Therefore, even when a certain actuator element makes displacement action, the vibration thereof is absorbed by the crosspiece. Accordingly, no inconvenience occurs, which would otherwise occur such that the displacement standard is changed.

[0021] The support effected for the optical waveguide plate by the plurality of crosspieces formed around the pixel structure makes it easy to obtain a uniform gap between the pixel structure and the optical waveguide plate for all of the pixels. Further, the size of the gap can be easily controlled by arbitrarily changing the height of the crosspiece. As a result, it is possible to obtain a uniform brightness for all of the pixels.

[0022] In the arrangement described above, it is also preferable that the actuator element includes a shape-retaining layer, an operating section having at least a pair of electrodes formed on the shape-retaining layer, a vibrating section for supporting the operating section, and a fixed section for supporting the vibrating section in a vibrating manner (invention as defined in claim 2).

[0023] In the display device constructed as described above, the term "actuator section including the shape-retaining layer" refers to an actuator element which has at least two or more displacement states at an identical voltage level. The actuator element having the shape-retaining layer has the following features.

- (1) The threshold characteristic concerning the change from the OFF state to the ON state is steep as compared with the case in which no shape-retaining layer exists. Accordingly, it is possible to narrow the deflection width of the voltage, and it is possible to mitigate the load on the circuit.
- (2) The difference between the ON state and the OFF state is distinct, resulting in improvement in contrast.
- (3) The dispersion of threshold value is decreased, and an enough margin is provided for the voltage setting range. It is desirable to use, as the actuator element, an actuator element which makes, for example, upward displacement (giving the separated state upon no voltage load and giving the contact state upon voltage application) because of easiness of control. Especially, it is desirable to use an actuator element having a structure including a pair of electrodes on its surface.
- (4) It is preferable to use, for example, a piezoelectric/electrostrictive layer and an anti-ferroelectric layer as the shape-retaining layer.

[0024] In the display device constructed as described above, it is also preferable that the crosspiece is secured to the optical waveguide plate (invention as defined in claim 3). Alternatively, it is also preferable that a gap-forming layer is provided between the optical waveguide plate and the crosspiece (invention as defined in claim 4). When the gap-forming layer is provided, it is easier to obtain a uniform gap between the pixel structure and the optical waveguide plate for all of the pixels. The size of the gap can be easily controlled as well.

[0025] The constitutive material for the gap-forming layer includes, for example, metal films, films containing carbon black, black pigment, or black dye, and transparent films having low light-scattering property. Accordingly, the gap-forming layer is allowed to simultaneously have the function of black matrix. Especially, when a metal film composed of, for example, Cr, Al, Ni, or Ag is used as the gap-forming layer, the attenuation and the scattering of the light transmitted through the optical waveguide plate can be suppressed, because a small amount of light is absorbed thereby. Therefore, such a metal film is used especially preferably.

[0026] When a film containing carbon black, black pigment, or black dye is used as the gap-forming layer,

then the light-absorbing performance is excellent, and it is possible to improve the contrast. When a transparent film having a poor light-scattering property is used as the gap-forming layer, then the light scattering can be suppressed, and the contrast can be enhanced by combining the film with an adhesive having an excellent light-absorbing property (or an adhesive having a light-absorbing property enhanced by adding black dye or black pigment).

[0027] The size of the gap-forming layer is set as follows, for example, as exemplified by the case in which the actuator element is displaced to be convex toward the optical waveguide plate. That is, the small limit (minimum value) of the gap amount is set to be such a degree that the leakage of light caused by the evanescent effect upon the OFF state of the pixel can be neglected. The large limit (maximum value) of the gap amount is set to be within a range in which the pixel structure can make contact with the optical waveguide plate in accordance with the displacement of the actuator element. Therefore, the thickness of the gap-forming layer is adjusted so that the gap amount is set to be within the range described above. However, the difference in height between the pixel structure and the crosspiece is controllable depending on various embodiments of the display device. The thickness of the gap-forming layer may be optimized in accordance therewith.

[0028] In the display device constructed as described above, it is also preferable that the crosspiece is formed at portions around four corners of each of the pixel structure (invention as defined in claim 5). The term "portions around the four corners of the pixel structure" includes, for example, positions corresponding to the respective corners when the pixel structure has, for example, a rectangular or elliptic planar configuration. The term refers to a form in which one crosspiece is sheared by the adjoining pixel structure. In this arrangement, four crosspieces are formed for one unit of the pixel structure. Accordingly, the vibration, which is caused by the displacement action of a certain actuator element, is effectively absorbed. As a result, the displacement action of the other actuator elements is scarcely and hardly affected thereby. As a result, the correspondence is well improved between the displacement and the ON operation/OFF operation for all of the pixels. It is possible to faithfully display a picture image corresponding to the inputted image signal. Further, the actuator substrate and the optical waveguide plate are tightly secured to one another.

[0029] It is also preferable that the crosspiece is formed to have a window for surrounding at least one pixel structure (invention as defined in claim 6). A representative example is constructed, for example, such that the crosspiece itself is formed to have a plate-shaped configuration, and the window (opening) is formed at a position corresponding to the pixel structure. Accordingly, an arrangement is achieved, in which all side surfaces of the pixel structure are surrounded by the crosspiece. The actuator substrate and the optical waveguide plate are secured to one another more tightly. Further, the vibration caused by the displacement action of a certain actuator element does not affect the displacement action of the other actuator elements at all.

[0030] It is also preferable that the crosspiece is constructed such that it includes a stripe-shaped opening which extends along a direction of an array of the pixel structures and which surrounds the array of the pixel structures (invention as defined in claim 7). Alternatively, it is also preferable that the crosspiece is formed to have a line-shaped configuration which extends along a direction of an array of the pixel structures (invention as defined in claim 8).

[0031] It is also preferable that the crosspiece is formed integrally with the actuator substrate (invention as defined in claim 9). In this arrangement, it is possible to improve the mechanical strength of the portion at which the crosspiece is formed. Accordingly, the rigidity of the actuator substrate is increased. As a result, the actuator element, which is formed on the actuator substrate, can be protected with the crosspiece, for example, when the actuator substrate is carried or stored. The step of hardening the crosspiece can be omitted, as compared with the case in which the crosspiece is formed separately. Thus, it is possible to reduce the number of production steps.

[0032] It is also preferable that the crosspiece is constructed by a wire member which extends along a direction of an array of the pixel structures (invention as defined in claim 10).

[0033] In the display device constructed as described above, it is also preferable that a recess is formed on a surface of the pixel structure (invention as defined in claim 11). In this arrangement, the number of recesses to be formed or the size of the recess is defined depending on the area of the pixel structure opposing to the optical waveguide plate. By doing so, it is possible to provide a substantially identical contact area with respect to the optical waveguide plate concerning the respective pixel structures. Thus, it is possible to obtain a uniform brightness for all of the pixels. The presence of the recess mitigate the tight contact between the pixel structure and the optical waveguide plate. Thus, the pixel structure is smoothly separated from the optical waveguide plate. As a result, the pixel structure can be prevented from adhesion to the optical waveguide plate. Thus, it is possible to effectively realize a high response speed.

[0034] In the display device constructed as described above, it is also preferable that a step is formed on a surface of the pixel structure (invention as defined in claim 12). In this arrangement, the provision of the step on the pixel structure makes it possible to obtain a constant area of the portion of the pixel structure

to make contact with the optical waveguide plate for all of the pixels. It is possible to obtain a uniform brightness for all of the pixels. The presence of the step mitigate the tight contact between the pixel structure and the optical waveguide plate. Accordingly, the pixel structure can be prevented from adhesion to the optical waveguide plate, and thus it is possible to effectively realize a high response speed.

[0035] In the display device constructed as described above, it is also preferable that a surface of the pixel structure has a concave configuration (invention as defined in claim 13). When the actuator element makes displacement, the central portion of the pixel structure tends to have the largest displacement amount. Therefore, when the surface of the pixel structure is allowed to have the concave configuration so that the central portion of the pixel structure is concave, the surface of the pixel structure is approximately flat when the actuator element makes displacement to allow the pixel structure to make contact with the optical waveguide plate. Accordingly, it is possible to increase the contact area of the pixel structure with respect to the optical waveguide plate.

[0036] When the depth of the concave curve is increased, a state is given, in which the central portion of the pixel structure does not arrive at the optical waveguide plate when the pixel structure makes contact with the optical waveguide plate, giving a state in which a recess is formed on the surface of the pixel structure in a simulated manner. Accordingly, the tight contact between the pixel structure and the optical waveguide plate is mitigated. Thus, the pixel structure is smoothly separated from the optical waveguide plate. As a result, the pixel structure can be prevented from adhesion to the optical waveguide plate, and it is possible to effectively realize a high response speed.

[0037] The arrangement in which the recess is formed on the surface of the pixel structure, the arrangement in which the step is formed on the surface of the pixel structure, and the arrangement in which the surface of the pixel structure has the concave configuration may be realized singly respectively, or they may be arbitrarily combined with each other. The combination of them makes it possible to obtain the synergistic effect on the basis of the respective arrangements.

[0038] According to another aspect of the present invention, there is provided a method for producing a display device, comprising a crosspiece-forming step of forming a plurality of crosspieces at portions other than actuator elements, of an actuator substrate arranged with the actuator elements corresponding to a large number of pixels; a pixel-forming step of forming pixel structures on the respective actuator elements on the actuator substrate; and a pressurizing step of laminating and pressurizing an optical waveguide plate in a state in which at least the pixel structures are not hardened, and then hardening at least the pixel structures (invention as defined in claim 14).

[0039] It is noted that the state in which the pixel structures are not hardened includes a state in which all of stacked films are not hardened, and a state in which a part of films are not hardened, when the pixel structure is constructed by a plurality of stacked films (multiple layered structure).

[0040] In this aspect, it is possible to obtain the precise positional alignment for the pixel structure and the crosspiece with respect to the actuator substrate, as well as it is possible to obtain the strong adhesive force. Further, the cleanness of the optical waveguide plate can be highly maintained, because the optical waveguide plate is finally laminated.

[0041] According to still another aspect of the present invention, there is provided a method for producing a display device, comprising a crosspiece-forming step of forming a plurality of crosspieces at portions other than portions corresponding to a large number of actuator elements, of an optical waveguide plate; a pixel-forming step of forming pixel structures at portions corresponding to the large number of pixels, of the optical waveguide plate; and a pressurizing step of laminating an actuator substrate arranged with actuator elements of a number corresponding to the large number of pixels, on the crosspieces and the pixel structures, and pressurizing the optical waveguide plate and the actuator substrate in directions to make approach to one another (invention as defined in claim 15).

[0042] In this method, the pixel structures and the crosspieces are formed on the optical waveguide plate, and the actuator substrate is laminated thereon. This method is advantageous in that the area of the pixel (contact area with respect to the optical waveguide plate) is easily defined, because the pixel structures are directly formed on the optical waveguide plate. Further, it is easy to obtain a uniform brightness for all of the pixels.

[0043] According to still another aspect of the present invention, there is provided a method for producing a display device, comprising a crosspiece-forming step of forming a plurality of crosspieces at portions other than actuator elements, of an actuator substrate arranged with the actuator elements corresponding to a large number of pixels; a pixel-forming step of forming pixel structures at portions corresponding to the large number of pixels, of an optical waveguide plate; and a pressurizing step of laminating a surface of the actuator substrate formed with the crosspieces and a surface of the optical waveguide plate formed with the pixel structures with each other, and pressuring the optical waveguide plate and the actuator substrate in directions to make approach to one another (invention as defined in claim 16).

[0044] In this method, the pixel structures are formed on the optical waveguide plate, and the crosspieces are formed on the actuator substrate. After that, the optical waveguide plate and the actuator substrate are laminated with each other.

[0045] In this aspect, the formation of the pixel structures and the formation of the crosspieces can be performed in the steps which are independent from each other. Accordingly, the range of material selection is widened concerning the pixel structure and the crosspiece. Thus, it is possible to reduce the production cost and the number of production steps. Further, the size of the pixel structure can be made uniform, because the pixel structures are formed on the optical waveguide plate which has high flatness.

[0046] According to still another aspect of the present invention, there is provided a method for producing a display device, comprising a crosspiece-forming step of forming a plurality of crosspieces at portions other than portions corresponding to a large number of actuator elements, of an optical waveguide plate; a pixel-forming step of forming pixel structures on respective actuator elements of an actuator substrate arranged with the actuator elements of a number corresponding to the large number of pixels; and a pressurizing step of laminating a surface of the actuator substrate formed with the pixel structures and a surface of the optical waveguide plate formed with the crosspieces with each other, and pressurizing the optical waveguide plate and the actuator substrate in directions to make approach to one another (invention as defined in claim 17).

[0047] In this method, the crosspieces are formed on the optical waveguide plate, and the pixel structures are formed on the actuator substrate. After that, the optical waveguide plate and the actuator substrate are laminated with each other.

[0048] Also in this aspect, the formation of the pixel structures and the formation of the crosspieces can be performed in the steps which are independent from each other. Accordingly, the range of material selection is widened concerning the pixel structure and the crosspiece. Thus, it is possible to reduce the production cost and the number of production steps. Further, the height of the crosspiece can be made strictly uniform, because the crosspieces are formed on the optical waveguide plate which has high flatness. Furthermore, for example, no obstacle (for example, the crosspiece) exists upon the formation of the pixel structure. Therefore, it is possible to accurately form the pixel structure.

[0049] According to still another aspect of the present invention, there is provided a method for producing a display device, comprising a pixel-forming step of forming pixel structures on respective actuator elements of an actuator substrate arranged with the actuator elements of a number corresponding to a large number of pixels and integrally having a plurality of crosspieces at portions other than the actuator elements; and a pressurizing step of laminating and pressurizing an optical waveguide plate in a state in which at least the pixel structures are not hardened, and then hardening at least the pixel structures (invention as defined in claim 18).

[0050] In this method, the pixel structures are formed on the actuator substrate which is previously provided with the crosspieces in the integrated manner. After that, the optical waveguide plate is laminated and pressurized.

[0051] In this aspect, the actuator substrate, which previously has the crosspieces in the integrated manner, is used as the actuator substrate. Therefore, the portion of the crosspiece has high mechanical strength. Accordingly, the rigidity of the actuator substrate is increased. As a result, for example, when the actuator substrate is carried or stored, the crosspieces can be used to protect the actuator elements formed on the actuator substrate. The step of hardening the crosspieces can be omitted, as compared with the case in which the crosspieces are separately formed. Thus, it is possible to reduce the number of production steps.

[0052] In the production methods described above, the optical waveguide plate is laminated and pressurized in the state in which at least the pixel structures are not hardened. Accordingly, the optical waveguide plate presses the crosspieces and the pixel structures toward the actuator substrate during the pressurizing process. Thus, a substantially identical surface is formed by the upper surface of the pixel structure and the upper surface of the crosspiece when at least the pixel structure is hardened.

[0053] In this aspect, a material, with which the pixel structure is contracted upon the hardening of the pixel structure, is used as the constitutive material for the pixel structure. By doing so, it is possible to form a gap between the optical waveguide plate and the pixel structure during the hardening process for the crosspiece and the pixel structure.

[0054] Other methods are available to form the gap. That is, for example, when the optical waveguide plate is laminated and pressurized, the pixel structure is heated and expanded, or the actuator element is displaced to allow the pixel structure to make contact with the optical waveguide plate. It is also possible to adopt a combination of the methods as described above. After that, when the crosspiece and the pixel structure are hardened, a constant gap is formed between the pixel structure and the optical waveguide plate in accordance with the contraction of the pixel structure or the displacement reset (restoration) of the

actuator element.

[0055] Another arrangement is available, in which the pixel structure contacts with the optical waveguide plate in the natural state. This arrangement is applicable to a case in which the displacement action of the actuator element resides in the displacement of the pixel structure in a direction to make separation from the optical waveguide plate.

[0056] In the production methods described above, it is preferable that the crosspiece is hardened, or the crosspiece is partially hardened when the optical waveguide plate is laminated. In this arrangement, the crosspiece acts as a spacer to define the distance between the actuator substrate and the optical waveguide plate.

[0057] According to still another aspect of the present invention, there is provided a method for producing a display device, comprising a crosspiece-forming step of forming a plurality of crosspieces at portions other than actuator elements, of an actuator substrate arranged with the actuator elements of a number corresponding to a large number of pixels; a pixel-forming step of forming pixel structures on the respective actuator elements of the actuator substrate; a first laminating step of laminating a plate member in a state in which at least the pixel structures are not hardened; a pressurizing step of pressurizing the actuator substrate and the plate member in directions to make approach to one another, and then hardening at least the pixel structures; and a second laminating step of removing the plate member, and then laminating an optical waveguide plate at least on the crosspieces (invention as defined in claim 19).

[0058] In this method, the plate member is once laminated on the actuator substrate which is formed with the pixel structures and the crosspieces to give a substantially identical surface for the respective upper surfaces of the pixel structures and the crosspieces. After that, the plate member is removed, and the optical waveguide plate is laminated.

[0059] In this aspect, it is possible to obtain the precise positional alignment and the strong adhesive force for the pixel structure and the crosspiece with respect to the actuator substrate.

[0060] The crosspieces, which have been formed on the actuator substrate, serve as the spacer when the plate member is laminated and pressurized on the actuator substrate. Thus, the distance is defined between the actuator substrate and the plate member. If the crosspieces are hardened, or if the crosspieces are partially hardened when the optical waveguide plate is laminated, the distance defined as described above corresponds to the distance between the actuator substrate and the optical waveguide plate.

[0061] When a smooth plate member is used as the plate member, a smooth surface equivalent to the surface of the plate member is formed on the surface of the pixel structure. The excellent smoothness is useful to improve the brightness when the pixels cause light emission. It is preferable that a releasing agent is applied to the plate member.

[0062] In the method described above, it is also preferable that only the crosspieces are subjected to figuring (crosspiece formation -> figuring hardening) after the formation of the crosspieces on the actuator substrate. When the plate member is laminated, it is possible to compensate the portion at which the crosspiece does not abut against the plate member, and it is possible to define the height of the crosspiece while absorbing the waviness of the actuator substrate. Further, when the pixel structure is formed, the pixel structure is simultaneously formed on the crosspiece as well to perform the figuring. Also in this arrangement, it is possible to define the height of the crosspiece while absorbing the waviness of the actuator substrate.

[0063] According to still another aspect of the present invention, there is provided a method for producing a display device, comprising a crosspiece-forming step of forming a plurality of crosspieces at portions other than portions corresponding to a large number of pixels, of a plate member; a pixel-forming step of forming pixel structures at the portions corresponding to the large number of pixels, of the plate member; a first laminating step of laminating an actuator substrate arranged with actuator elements of a number corresponding to the large number of pixels on the crosspieces and the pixel structures; a pressurizing step of pressurizing the plate member and the actuator substrate in directions to make approach to one another; and a second laminating step of removing the plate member to transfer the crosspieces and the pixel structures to the actuator substrate, and then laminating an optical waveguide plate on at least the crosspieces (invention as defined in claim 20).

[0064] In this method, the pixel structures and the crosspieces are formed on the plate member. After hardening them respectively, or without hardening them, the actuator substrate is laminated. Subsequently, the plate member is removed, and the optical waveguide plate is laminated.

[0065] In this aspect, for example, it is preferable that a releasing agent is applied to the plate member before the crosspieces and the pixel structures are formed on the plate member. By doing so, it is possible to smoothly transfer the pixel structures and the crosspieces to the actuator substrate.

[0066] In the present invention, when the actuator substrate is laminated and pressurized on the plate member formed with the crosspieces and the pixel structures, the crosspieces, which have been formed on the plate member, serve as the spacer to define the distance between the actuator substrate and the plate member. When the crosspieces are hardened or partially hardened upon the formation of the crosspieces on the plate member, the defined distance corresponds to the distance between the actuator substrate and the optical waveguide plate.

[0067] According to still another aspect of the present invention, there is provided a method for producing a display device, comprising a crosspiece-forming step of forming a plurality of crosspieces at portions other than actuator elements, of an actuator substrate arranged with the actuator elements of a number corresponding to a large number of pixels; a pixel-forming step of forming pixel structures at portions corresponding to the large number of pixels, of a plate member; a first laminating step of laminating a surface of the actuator substrate formed with the crosspieces and a surface of the plate member formed with the pixel structures with each other; a pressurizing step of pressurizing the plate member and the actuator substrate in directions to make approach to one another; and a second laminating step of removing the plate member to transfer the pixel structures to the actuator substrate, and then laminating an optical waveguide plate on at least the crosspieces (invention as defined in claim 21).

[0068] In this method, the crosspieces are formed on the actuator substrate, and the pixel structures are formed on the plate member. The actuator substrate and the plate member are laminated with each other. After that, the plate member is removed, and the optical waveguide plate is laminated.

[0069] In this aspect, the formation of the pixel structures and the formation of the crosspieces can be performed in the independent steps respectively. Accordingly, the range of material selection is widened concerning the pixel structure and the crosspiece. Thus, it is possible to reduce the production cost and the number of production steps. Further, the size of the pixel structure can be made uniform, because the pixel structures are formed on the plate member which has high flatness.

[0070] According to still another aspect of the present invention, there is provided a method for producing a display device, comprising a pixel-forming step of forming pixel structures on respective actuator elements of an actuator substrate arranged with the actuator elements of a number corresponding to a large number of pixels; a crosspiece-forming step of forming a plurality of crosspieces at portions other than portions corresponding to the large number of pixels, of a plate member; a first laminating step of laminating a surface of the actuator substrate formed with the pixel structures and a surface of the plate member formed with the crosspieces with each other; a pressurizing step of pressurizing the plate member and the actuator substrate in directions to make approach to one another; and a second laminating step of removing the plate member to transfer the crosspieces to the actuator substrate, and then laminating an optical waveguide plate on at least the crosspieces (invention as defined in claim 22).

[0071] In this method, the pixel structures are formed on the actuator substrate, and the crosspieces are formed on the plate member. The actuator substrate and the plate member are laminated with each other. After that, the plate member is removed, and the optical waveguide plate is laminated.

[0072] Also in this aspect, the formation of the pixel structures and the formation of the crosspieces can be performed in the independent steps respectively. Accordingly, the range of material selection is widened concerning the pixel structure and the crosspiece. Thus, it is possible to reduce the production cost and the number of production steps. Further, the height of the crosspiece can be made strictly uniform, because the crosspieces are formed on the plate member which has high flatness. Furthermore, no obstacle (for example, the crosspiece) exists upon the formation of the pixel structure. Therefore, it is possible to accurately form the pixel structure.

[0073] According to still another aspect of the present invention, there is provided a method for producing a display device, comprising a pixel-forming step of forming pixel structures on respective actuator elements of an actuator substrate arranged with the actuator elements of a number corresponding to a large number of pixels and integrally having a plurality of crosspieces at portions other than the actuator elements; a first laminating step of laminating a plate member in a state in which at least the pixel structures are not hardened; a pressurizing step of pressurizing the actuator substrate and the plate member in directions to make approach to one another, and then hardening at least the pixel structures; and a second laminating step of removing the plate member, and then laminating an optical waveguide plate on at least the crosspieces (invention as defined in claim 23).

[0074] In this method, the pixel structures are formed on the actuator substrate which integrally has the crosspieces. Subsequently, the plate member is laminated on the actuator substrate. After that, the plate member is removed, and the optical waveguide plate is laminated.

[0075] In this aspect, the mechanical strength of the portion of the crosspiece is high, because the actuator substrate previously having the crosspieces in the integrated manner is used as the actuator substrate. Accordingly, the rigidity of the actuator substrate is increased. As a result, the actuator element,

which is formed on the actuator substrate, can be protected with the crosspiece, for example, when the actuator substrate is carried or stored. The step of hardening the crosspiece can be omitted, as compared with the case in which the crosspiece is separately formed. Thus, it is possible to reduce the number of production steps.

[0076] According to still another aspect of the present invention, there is provided a method for producing a display device, comprising a pixel-forming step of forming pixel structures on respective actuator elements of an actuator substrate arranged with the actuator elements of a number corresponding to a large number of pixels; a first laminating step of using a jig including, on one surface of a plate member, a large number of size-defining members formed to have substantially the same height as that of crosspieces to be formed on the actuator substrate to laminate a surface of the jig formed with the size-defining members and a surface of the actuator substrate formed with the pixel structures with each other; a pressurizing step of pressurizing the jig and the actuator substrate in directions to make approach to one another; a crosspiece-forming step of removing the jig, and then forming the plurality of crosspieces at portions other than the actuator sections, of the actuator substrate; and a second laminating step of laminating an optical waveguide plate on at least the crosspieces on the actuator substrate (invention as defined in claim 24).

[0077] In this method, the pixel structures are formed on the actuator substrate. Subsequently, the jig including the large number of size-defining members formed on the plate member and the actuator substrate are laminated and pressurized, and thus the size of the pixel structures is defined. After that, the jig is removed, the crosspieces are formed on the actuator substrate, and then the optical waveguide plate is laminated.

[0078] In this aspect, for example, when the jig is constructed by a member having rigidity such as metal, the waviness of the actuator substrate formed with the pixel structures can be reduced by laminating and pressurizing the jig and the actuator substrate. The crosspieces can be formed highly accurately in the crosspiece-forming step performed thereafter.

[0079] According to still another aspect of the present invention, there is provided a method for producing a display device, comprising a pixel-forming step of forming pixel structures on respective actuator elements of an actuator substrate arranged with the actuator elements of a number corresponding to a large number of pixels; a first laminating step of using a jig including, on one surface of a plate member, a large number of size-defining members formed to have substantially the same height as that of crosspieces to be formed on the actuator substrate to laminate a surface of the jig formed with the size-defining members and a surface of the actuator substrate formed with the pixel structures with each other; a pressurizing step of pressurizing the jig and the actuator substrate in directions to make approach to one another; a crosspiece-forming step of removing the jig, and then forming the plurality of crosspieces at portions other than portions corresponding to the large number of pixels, of an optical waveguide plate; and a second laminating step of laminating a surface of the actuator substrate formed with the pixel structures and a surface of the optical waveguide plate formed with the crosspieces with each other (invention as defined in claim 25).

[0080] In this method, the pixel structures are formed on the actuator substrate. Subsequently, the jig including the plate member provided with the large number of size-defining members and the actuator substrate are laminated with each other to pressurize them. Thus, the size of the pixel structures is defined. After the jig is removed, the crosspieces are formed on the optical waveguide plate, and the optical waveguide plate and the actuator substrate are laminated with each other.

[0081] Also in this aspect, for example, when the jig is constructed by a member having rigidity such as metal, the waviness of the actuator substrate formed with the pixel structures can be reduced by laminating and pressurizing the jig and the actuator substrate. The optical waveguide plate can be laminated highly accurately thereafter. Further, the height of the crosspiece can be made strictly uniform, because the crosspieces are formed on the optical waveguide plate which has high flatness.

[0082] According to still another aspect of the present invention, there is provided a method for producing a display device, comprising a pixel-forming step of forming pixel structures on respective actuator elements of an actuator substrate arranged with the actuator elements of a number corresponding to a large number of pixels; a crosspiece-forming step of using a jig including, on one surface of a plate member, a large number of size-defining members formed to have substantially the same height as that of crosspieces to be formed on the actuator substrate to form the plurality of crosspieces at portions formed with no size-defining member, of a surface of the jig formed with the size-defining members, the portions being other than portions corresponding to the large number of pixels; a first laminating step of laminating the surface of the jig formed with the size-defining members and the crosspieces and a surface of the actuator substrate formed with the pixel structures with each other; a pressurizing step of pressurizing the jig and the actuator substrate in directions to make approach to one another; and a second laminating step of removing the jig to transfer the crosspieces to the actuator substrate, and then laminating an optical waveguide plate on at least the crosspieces on the actuator substrate (invention as defined in claim 26).

[0083] In this method, the pixel structures are formed on the actuator substrate, and the crosspieces are formed on the jig including the plate member provided with the large number of size-defining members. The actuator substrate and the jig are laminated with each other to pressurize them. Thus, the size of the pixel structures is defined. After that, the jig is removed, the crosspieces are transferred to the actuator substrate, and the optical waveguide plate is laminated.

[0084] Also in this aspect, for example, when the jig is constructed by a member having rigidity such as metal, the waviness of the actuator substrate formed with the pixel structures can be reduced by laminating and pressurizing the jig and the actuator substrate. The crosspieces and the pixel structures can be formed highly accurately.

[0085] According to still another aspect of the present invention, there is provided a method for producing a display device, comprising a crosspiece-forming step of forming a plurality of crosspieces at portions other than actuator elements, of an actuator substrate arranged with the actuator elements of a number corresponding to a large number of pixels; a pixel-forming step of forming pixel structures on the respective actuator elements of the actuator substrate; a first laminating step of using a jig including, on one surface of a plate member, a large number of size-defining members formed to have substantially the same height as that of the crosspieces to be formed on the actuator substrate to laminate a surface of the jig formed with the size-defining members and a surface of the actuator substrate formed with the crosspieces and the pixel structures with each other; a pressurizing step of pressurizing the jig and the actuator substrate in directions to make approach to one another; and a second laminating step of removing the jig, and then laminating an optical waveguide plate on at least the crosspieces on the actuator substrate (invention as defined in claim 27).

[0086] In this method, the pixel structures and crosspieces are formed on the actuator substrate. The actuator substrate and the jig including the plate member provided with the large number of size-defining members are laminated with each other to pressurize them. Thus, the size of the crosspieces and the pixel structures is defined. After that, the jig is removed, and the optical waveguide plate is laminated.

[0087] Also in this aspect, for example, when the jig is constructed by a member having rigidity such as metal, the waviness of the actuator substrate formed with the pixel structures and the crosspieces can be reduced by laminating and pressurizing the jig and the actuator substrate. The crosspieces and the pixel structures can be formed highly accurately.

[0088] According to still another aspect of the present invention, there is provided a method for producing a display device, comprising a crosspiece-forming step of forming a plurality of crosspieces at portions other than actuator elements, of an actuator substrate arranged with the actuator elements of a number corresponding to a large number of pixels; a pixel-forming step of using a jig including, on one surface of a plate member, a large number of size-defining members formed to have substantially the same height as that of the crosspieces to be formed on the actuator substrate to form pixel structures at portions corresponding to the large number of pixels, the portions being formed with no size-defining member, of a surface of the jig formed with the size-defining members; a first laminating step of laminating the surface of the jig formed with the size-defining members and the pixel structures and a surface of the actuator substrate formed with the crosspieces with each other; a pressurizing step of pressurizing the jig and the actuator substrate in directions to make approach to one another; and a second laminating step of removing the jig to transfer the pixel structures to the actuator substrate, and then laminating an optical waveguide plate on at least the crosspieces on the actuator substrate (invention as defined in claim 28).

[0089] In this method, the crosspieces are formed on the actuator substrate. The pixel structures are formed on the jig including the plate member provided with the large number of size-defining members. The actuator substrate and the jig are laminated with each other to pressurize them. Thus, the size of the crosspieces and the pixel structures is defined. After that, the jig is removed, the pixel structures are transferred to the actuator substrate, and then the optical waveguide plate is laminated.

[0090] Also in this aspect, for example, when the jig is constructed by a member having rigidity such as metal, the waviness of the actuator substrate formed with the pixel structures can be reduced by laminating and pressurizing the jig and the actuator substrate. The crosspieces and the pixel structures can be formed highly accurately.

[0091] According to still another aspect of the present invention, there is provided a method for producing a display device, comprising a crosspiece-forming step of using a jig including, on one surface of a plate member, a large number of size-defining members formed to have substantially the same height as that of crosspieces to be formed on an actuator substrate to form the plurality of crosspieces at portions formed with no size-defining member, of a surface of the jig formed with the size-defining members, the portions being other than portions corresponding to a large number of pixels; a pixel-forming step of forming pixel structures at portions corresponding to the large number of pixels, the portions being formed with no size-defining member, of the surface of the jig formed with the size-defining members; a first laminating step of laminating the actuator substrate arranged with actuator elements of a number corresponding to the large number of pixels on the crosspieces and the pixel structures on the jig; a pressurizing step of pressurizing

the jig and the actuator substrate in directions to make approach to one another; and a second laminating step of removing the jig to transfer the crosspieces and the pixel structures to the actuator substrate, and then laminating an optical waveguide plate on at least the crosspieces (invention as defined in claim 29).

[0092] In this method, the crosspieces and the pixel structures are formed on the jig including the plate member formed with the large number of size-defining members. The jig and the actuator substrate are laminated with each other to pressurize them. Thus, the size of the crosspieces and the pixel structures is defined. After that, the jig is removed, the crosspieces and the pixel structures are transferred to the actuator substrate, and the optical waveguide plate is laminated.

[0093] Also in this aspect, for example, when the jig is constructed by a member having rigidity such as metal, the waviness of the actuator substrate can be reduced by laminating and pressurizing the jig and the actuator substrate. The crosspieces and the pixel structures can be transferred to the actuator substrate highly accurately.

[0094] In the production methods in which the crosspieces are formed on the plate member or the jig, of the production methods described above, it is also preferable that the members for constructing the crosspieces are laminated on the plate member or the jig by utilizing surface tension of liquid (invention as defined in claim 30). In this arrangement, the plate member or the jig can be easily removed thereafter.

[0095] In the production methods in which the crosspieces are formed on the plate member or the jig, of the production methods described above, it is also preferable that the crosspieces are formed at the concerning portions of the plate member or the jig, and then the crosspieces are hardened (invention as defined in claim 31).

[0096] It is also preferable that in the pressurizing step of the production methods described above, at least the pixel structures are hardened while pressurizing the actuator substrate and the member to be pressurized together with the actuator substrate (invention as defined in claim 32). It is also preferable that the optical waveguide plate includes a gap-forming layer at a portion corresponding to the crosspiece (invention as defined in claim 33).

[0097] In the methods described above, it is also preferable that a gap-forming layer is previously formed on the crosspiece before laminating the optical waveguide plate (invention as defined in claim 34). In this arrangement, the presence of the gap-forming layer makes it easier to obtain a uniform gap between the pixel structure and the optical waveguide plate for all of the pixels. The size of the gap can be easily controlled as well.

[0098] When the optical waveguide plate, the plate member, or the jig is laminated and pressurized in the state in which at least the pixel structures are not hardened upon the lamination of the plate member or the jig and the actuator substrate or upon the lamination of the optical waveguide plate and the actuator substrate, the optical waveguide plate, the plate member, or the jig presses the crosspieces and the pixel structures toward the actuator substrate during the pressurizing process. The upper surface of the crosspiece and the upper surface of the pixel structure form a substantially identical surface at least when the pixel structures are hardened.

[0099] In this arrangement, a material, with which the pixel structure is contracted upon the hardening of the pixel structure, is used as the constitutive material for the pixel structure. By doing so, it is possible to form a gap between the pixel structure and the optical waveguide plate during the hardening of the crosspiece and the pixel structure.

[0100] Other methods are available to form the gap. That is, for example, when the optical waveguide plate is laminated and pressurized, the pixel structure is heated and expanded, or the actuator element is displaced to allow the pixel structure to make contact with the optical waveguide plate. It is also possible to adopt a combination of the methods as described above. After that, when the crosspiece and the pixel structure are hardened, a constant gap is formed between the pixel structure and the optical waveguide plate in accordance with the contraction of the pixel structure or the displacement reset (restoration) of the actuator element.

[0101] Another arrangement is available, in which the pixel structure contacts with the optical waveguide plate in the natural state. This arrangement is applicable to a case in which the displacement action of the actuator element resides in displacement in a direction in which the pixel structure is separated from the optical waveguide plate.

[0102] In the production methods described above, it is preferable that the crosspiece is hardened, or the crosspiece is partially hardened when the plate member or the optical waveguide plate is laminated on the actuator substrate. In this arrangement, the crosspiece acts as a spacer to define the distance between the actuator substrate and the plate member or the optical waveguide plate.

[0103] It is also preferable that when the actuator substrate and the member (the optical waveguide plate,

the plate member, or the jig) to be pressurized together with the actuator substrate are pressurized, a preliminary treatment is performed for gap formation, and a predetermined gap is formed between the pixel structure and the optical waveguide plate during the hardening of at least the pixel structures performed thereafter (invention as defined in claim 35).

[0104] This arrangement resides in the method having been already explained. That is, when the optical waveguide plate, the plate member, or the jig is laminated and pressurized, the pixel structure is heated and expanded, or the actuator element is displaced to allow the pixel structure to make contact with the optical waveguide plate, the plate member, or the jig. When this method is adopted, it is easy to form a constant gap between the pixel structures and the optical waveguide plate. It is possible to obtain a uniform brightness for all of the pixels.

[0105] Especially, it is preferable that a vacuum packaging method is used to pressurize the actuator substrate and the member (the optical waveguide plate, the plate member, or the jig) to be pressurized together with the actuator substrate (invention as defined in claim 36). That is, for example, even when the actuator substrate involves warpage and waviness, it is possible to uniformly pressurize the actuator substrate and the optical waveguide plate, the plate member, or the jig. Accordingly, the optical waveguide plate, the plate member, or the jig and the actuator substrate are adopted to one another. Therefore, when the optical waveguide plate is laminated, a constant gap can be finally formed between all of the pixel structures and the optical waveguide plate.

[0106] If the thickness is dispersed among the pixel structures, the displacement (displacement amount) of the actuator element after the formation of the pixel is greatly dispersed. However, according to this method, the thickness is uniformly formed for all of the pixel structures. Therefore, it is possible to suppress such dispersion in displacement (displacement amount) of the actuator element.

[0107] Owing to the fact that the dispersion scarcely occurs in the thickness of the pixel structure, there is no dispersion in deformation of the pixel structure caused by thermal expansion or contraction. It is advantageous that the dispersion hardly appears in gap amount even when any heat is exerted.

[0108] It is also preferable that a low pressure press method is used to pressurize the actuator substrate and the member (the optical waveguide plate, the plate member, or the jig) to be pressurized together with the actuator substrate (invention as defined in claim 37). In this arrangement, it is possible to decrease the stress applied to the actuator substrate. Therefore, it is possible to avoid any damage or the like of the actuator element. Further, little deformation occurs in the actuator substrate and the optical waveguide plate due to the lamination, and the residual stress is small. Accordingly, it is possible to improve the stability and the durability of the gap.

[0109] In the methods described above, it is also preferable that the member (the plate member or the jig), which is used to be laminated on the actuator substrate in the first laminating step, has a projection at a portion corresponding to each of the pixel structures, and a recess corresponding to the projection is formed on the surface of the pixel structure when the plate member or the jig and the actuator substrate are pressurized (invention as defined in claim 38).

[0110] In the methods described above, it is also preferable that the member (the plate member or the jig), which is used to be laminated on the actuator substrate in the first laminating step, has a projection at a portion corresponding to each of the pixel structures, and a step corresponding to the projection is formed on the surface of the pixel structure when the plate member or the jig and the actuator substrate are pressurized (invention as defined in claim 39).

[0111] In the methods described above, it is also preferable that the member (the plate member or the jig), which is used to be laminated on the actuator substrate in the first laminating step, has a convex configuration formed at a portion corresponding to each of the pixel structures, and a concave configuration corresponding to the convex configuration is formed on the surface of the pixel structure when the plate member or the jig and the actuator substrate are pressurized (invention as defined in claim 40).

[0112] The crosspiece and the pixel structure may be formed by using the film formation method and the ceramic sintering method. The film formation method includes the thick film formation method such as the screen printing, the photolithography method, the film lamination method, the spray dipping, the application, and the stamping (the method for placing a liquid material as if a stamp is put); and the thin film formation method such as the ion beam, the sputtering, the vacuum evaporation, the ion plating, CVD, and the plating.

[0113] The plate member having the projection on the surface is used in the method for forming the recess and the step on the surface of the pixel structure. For this purpose, it is preferable to use a method in which a metal film or a resist film is formed by the general thin film formation method on a plate member composed of glass. This method is advantageous in that the pattern and the height of the projection can be arbitrarily changed. It is preferable that the height of the projection is about 0.1 to 2 μm .

[0114] Other methods are available to form the recess or the step on the surface of the pixel structure. It is possible to use the plane polishing and the laser beam-based surface processing for the surface of the pixel structure. The laser processing is not directed to the formation of the recess, but it also has an effect of surface improvement by means of heating. Further, it is possible to arbitrarily design the processing pattern. Therefore, the laser processing is used especially preferably.

[0115] The method for forming the concave configuration of the surface of the pixel structure includes a method of heating and a method in which a voltage is applied to the actuator element during the hardening of the pixel structure. There are a method in which heating is effected during the figuring hardening with the plate member, and a method in which heating is effected after removing the plate member. It is possible to select the method depending on the material quality of the pixel structure. The usable heating temperature is 15 DEG C to 150 DEG C. Especially, a temperature of 20 DEG C to 80 DEG C is preferably used.

BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

FIG. 1 shows an arrangement illustrating a display device according to a first embodiment;
FIG. 2 shows a first illustrative arrangement of the actuator element and the pixel structure;
FIG. 3 shows an example of the planar configuration of a pair of electrodes formed on the actuator element;
FIG. 4A illustrates an example in which comb teeth of the pair of electrodes are arranged along the major axis of the shape-retaining layer;
FIG. 4B illustrates another example;
FIG. 5A illustrates an example in which comb teeth of the pair of electrodes are arranged along the minor axis of the shape-retaining layer;
FIG. 5B illustrates another example;
FIG. 6 shows an arrangement illustrating another example of the pair of electrodes formed on the actuator element;
FIG. 7 shows an arrangement illustrating the display device when the actuator element is subjected to the bending displacement in the second direction to be convex toward the hollow space;
FIG. 8 shows a second illustrative arrangement of the actuator element and the pixel structure;
FIG. 9 shows a third illustrative arrangement of the actuator element and the pixel structure;
FIG. 10 shows a fourth illustrative arrangement of the actuator element and the pixel structure;
FIG. 11 illustrates an arrangement in which the crosspieces are formed at portions around four corners of the pixel structures respectively;
FIG. 12 illustrates an arrangement of the crosspiece concerning a first modified embodiment;
FIG. 13 illustrates an arrangement of the crosspiece concerning a second modified embodiment;
FIG. 14 illustrates an arrangement of the crosspiece concerning a third modified embodiment;
FIG. 15 illustrates an arrangement of the crosspiece concerning a fourth modified embodiment;
FIG. 16 illustrates an arrangement of the crosspiece concerning a fifth modified embodiment;
FIG. 17 shows the displacement characteristic of the actuator element to explain the gradation control based on the voltage modulation system;
FIG. 18 illustrate the dot area and the contact state of the pixel and the principle of the gradation control based on the evanescent effect;
FIG. 19 shows an arrangement illustrating a display device according to a second embodiment;
FIG. 20 shows an arrangement illustrating a modified embodiment of the display device according to a second embodiment;
FIG. 21 shows an arrangement illustrating a display device according to a third embodiment;
FIG. 22 shows an arrangement illustrating a display device according to a fourth embodiment;
FIG. 23 shows an arrangement illustrating a display device according to a fifth embodiment;
FIG. 24 shows an arrangement illustrating a display device according to a sixth embodiment;
FIG. 25 shows a perspective view illustrating a large screen display apparatus based on the display device according to the first to sixth embodiments, as viewed from the back side;
FIGS. 26A to 26C show production steps illustrating a first production method;
FIGS. 27A to 27C show production steps illustrating a first method of photolithography;
FIGS. 28A to 28C show production steps illustrating a second method of photolithography;
FIG. 29 illustrates a film lamination method;
FIG. 30 illustrates a vacuum packaging method;
FIG. 31 illustrates a low pressure press method;
FIGS. 32A to 32D show production steps illustrating a second production method;
FIGS. 33A to 33D show production steps illustrating a third production method;
FIG. 34 illustrates a state in which a plate member having projections is used to form a plurality of recesses on the pixel structure;
FIG. 35 illustrates a state in which a plate member having a projection is used to form a step on the pixel

structure;

FIG. 36 illustrates a state in which a plate member having a convex configuration is used to form a concave configuration on the pixel structure;

FIG. 37 illustrates a state in which a plate member having projections is used to form the upper end of the pixel structure which is higher than the upper end of the crosspiece;

FIGS. 38A to 38B show production steps illustrating an example in which the optical waveguide plate is directly laminated on the upper surfaces of the crosspieces, concerning the third and fourth production methods;

FIGS. 39A to 39D show production steps illustrating the fourth production method;

FIGS. 40A to 40B show production steps illustrating an example in which the optical waveguide plate is laminated on the upper surfaces of the crosspieces after forming the gap-forming layer on the optical waveguide plate, concerning the third and fourth production methods;

FIGS. 41A to 41C show production steps illustrating a fifth production method;

FIGS. 42A to 42C show production steps illustrating a sixth production method;

FIGS. 43A and 43B show production steps illustrating a seventh production method;

FIGS. 44A to 44C show production steps illustrating an eighth production method (No. 1);

FIGS. 45A and 45B show production steps illustrating the eighth production method (No. 2);

FIGS. 46A to 46C show production steps illustrating a ninth production method (No. 1);

FIGS. 46A and 46B show production steps illustrating the ninth production method (No. 2);

FIG. 48 illustrates a state in which the crosspieces composed of the film are laminated on the plate member by utilizing the surface tension of the liquid (for example, water);

FIGS. 49A to 49C show production steps illustrating a tenth production method (No. 1);

FIGS. 50A and 50B show production steps illustrating the tenth production method (No. 2);

FIGS. 51A to 51C show production steps illustrating an eleventh production method (No. 1);

FIGS. 52A and 52B show production steps illustrating the eleventh production method (No. 2);

FIGS. 53A to 53C show production steps illustrating a twelfth production method (No. 1);

FIGS. 54A and 54B show production steps illustrating the twelfth production method (No. 2);

FIGS. 55A to 55C show production steps illustrating a thirteenth production method (No. 1);

FIGS. 56A and 56B show production steps illustrating the thirteenth production method (No. 2);

FIGS. 57A to 57C show production steps illustrating a fourteenth production method (No. 1);

FIGS. 58A and 58B show production steps illustrating the fourteenth production method (No. 2);

FIGS. 59A to 59C show production steps illustrating a fifteenth production method (No. 1);

FIGS. 60A and 60B show production steps illustrating the fifteenth production method (No. 2);

FIGS. 61A to 61C show production steps illustrating a sixteenth production method (No. 1);

FIGS. 62A and 62B show production steps illustrating the sixteenth production method (No. 2); and

FIG. 63 shows an arrangement of the display device concerning the illustrative example suggested by the present applicant.

BEST MODE FOR CARRYING OUT THE INVENTION

[0117] Several illustrative embodiments of the display device and the method for producing the display device according to the present invention will be explained below with reference to FIGS. 1 to 62B.

[0118] As shown in FIG. 1, a display device Da according to the first embodiment comprises an optical waveguide plate 12 for introducing light 10 from a light source 100 thereinto, and a driving section 16 provided opposingly to the back surface of the optical waveguide plate 12 and including a large number of actuator elements 14 which are arranged corresponding to pixels in a matrix configuration or in a zigzag configuration.

[0119] A pixel structure 102 is stacked on each of the actuator elements 14. The pixel structure 102 functions to increase the contact area with respect to the optical waveguide plate 12 so that the area corresponding to the pixel is obtained.

[0120] The driving section 16 includes an actuator substrate 18 composed of, for example, ceramics. The actuator elements 14 are arranged at positions corresponding to the respective pixels on the actuator substrate 18. The actuator substrate 18 has its first principal surface which is arranged to oppose to the back surface of the optical waveguide plate 12. The first principal surface is a continuous surface (flushed surface). Hollow spaces 20 for forming respective vibrating sections as described later on are provided at positions corresponding to the respective pixels at the inside of the actuator substrate 18. The respective hollow spaces 20 communicate with the outside via through-holes 18a each having a small diameter and provided at a second principal surface of the actuator substrate 18.

[0121] The portion of the actuator substrate 18, at which the hollow space 20 is formed, is thin-walled. The other portion of the actuator substrate 18 is thick-walled. The thin-walled portion has a structure which tends to undergo vibration in response to external stress, and it functions as a vibrating section 22. The portion other than the hollow space 20 is thick-walled, and it functions as a fixed section 24 for supporting

the vibrating section 22.

[0122] That is, the actuator substrate 18 has a stacked structure comprising a substrate layer 18A as a lowermost layer, a spacer layer 18B as an intermediate layer, and a thin plate layer 18C as an uppermost layer. The actuator substrate 18 can be recognized as an integrated structure including the hollow spaces 20 formed at the positions in the spacer layer 18B corresponding to the pixels. The substrate layer 18A functions as a substrate for reinforcement, as well as it functions as a substrate for wiring. The actuator substrate 18 may be sintered in an integrated manner, or it may be additionally attached.

[0123] Specified embodiments of the actuator element 14 and the pixel structure 102 will now be explained with reference to FIGS. 2 to 10. The embodiments shown in FIGS. 2 to 10 are illustrative of the structure in which the gap-forming layer 50 is formed between the crosspieces 70 and the optical waveguide plate 12 as described later on.

[0124] At first, as shown in FIG. 2, each of the actuator elements 14 comprises the vibrating section 22 and the fixed section 24 described above, as well as a shape-retaining layer 26 composed of, for example, a piezoelectric/electrostrictive layer or an anti-ferroelectric layer directly formed on the vibrating section 22, and a pair of electrodes 28 (a row electrode 28a and a column electrode 28b) formed on an upper surface of the shape-retaining layer 26.

[0125] The pair of electrodes 28 may have a structure in which they are formed on upper and lower sides of the shape-retaining layer 26, or they are formed on only one side of the shape-retaining layer 26. However, in order to advantageously joint the actuator substrate 18 and the shape-retaining layer 26, it is preferable that the pair of electrodes 28 are formed only on the upper side (the side opposite to the actuator substrate 18) of the shape-retaining layer 26 so that the actuator substrate 18 directly contacts with the shape-retaining layer 26 without any difference in height, as in this embodiment.

[0126] The planar configuration of the pair of electrodes 28 may be a shape in which a large number of comb teeth are opposed to one another in a complementary manner as shown in FIG. 3. Alternatively, it is possible to adopt, for example, the spiral configuration and the branched configuration as disclosed in Japanese Laid-Open Patent Publication No. 10-78549 as well.

[0127] When the planar configuration of the shape-retaining layer 26 is, for example, an elliptic configuration, and the pair of electrodes 28 are formed to have a comb teeth-shaped configuration, then it is possible to use, for example, a form in which the comb teeth of the pair of electrodes 28 are arranged along the major axis of the shape-retaining layer 26 as shown in FIGS. 4A and 4B, and a form in which the comb teeth of the pair of electrodes 28 are arranged along the minor axis of the shape-retaining layer 26 as shown in FIGS. 5A and 5B.

[0128] It is possible to use, for example, the form in which the comb teeth of the pair of electrodes 28 are included in the planar configuration of the shape-retaining layer 26 as shown in FIGS. 4A and 5A, and the form in which the comb teeth of the pair of electrodes 28 protrude from the planar configuration of the shape-retaining layer 28 as shown in FIGS. 4B and 5B. The form shown in FIGS. 4B and 5B are more advantageous to effect the bending displacement of the actuator element 14.

[0129] The pair of electrodes 28 are arranged, for example, as follows as shown in FIG. 6. That is, the row electrode 28a is formed on the lower surface of the shape-retaining layer 26, and the column electrode 28b is formed on the upper surface of the shape-retaining layer 26.

[0130] In this embodiment, as shown in FIG. 1, the actuator element 14 can be allowed to make bending displacement in the first direction so that it is convex toward the optical waveguide plate 12. Alternatively, as shown in FIG. 7, the actuator element 14 can be allowed to make bending displacement in the second direction so that it is convex toward the hollow space 20.

[0131] On the other hand, as shown in FIG. 2, for example, the pixel structure 102 can be constructed as a stacked structure comprising a transparent layer 48, a color filter 40, and a white scattering element 32 to serve as a displacement-transmitting section formed on the actuator element 14.

[0132] Further, as shown in FIG. 8, a light-reflective layer 72 may be allowed to intervene as a layer disposed under the white scattering element 32. In this arrangement, when the light-reflective layer 72 is composed of a conductive layer such as those made of metal, it is feared that a short circuit may be formed between the pair of electrodes 28a, 28b of the actuator element 14. Therefore, it is desirable that an insulative layer 74 is formed between the light-reflective layer 72 and the actuator element 14.

[0133] Another example of the pixel structure 102 is shown, for example, in FIG. 9. That is, the pixel structure 102 can be also constructed by a stacked structure comprising a transparent layer 48 and a color scattering element 44 also used as the displacement-transmitting section formed on the actuator element 14. Also in this case, as shown in FIG. 10, a light-reflective layer 72 and an insulative layer 74 may be allowed to intervene between the actuator element 14 and the color scattering element 44.

[0134] As shown in FIG. 1, the display device Da according to the first embodiment comprises the crosspiece 70 formed at the portion other than the pixel structure 102 between the optical waveguide plate 12 and the actuator substrate 18. The embodiment shown in FIG. 1 is illustrative of the case in which the optical waveguide plate 12 is directly secured to the upper surface of the crosspiece 70. It is preferable that the material for the crosspiece 70 is not deformable against the heat and the pressure.

[0135] The crosspieces 70 can be formed, for example, at portions around four corners of the pixel structures 102. As shown in FIG. 11, the portions around four corners of the pixel structure 102 are exemplified by positions corresponding to the respective corners, for example, when the pixel structure 102 has a rectangular or elliptic planar configuration. The portions refer to a form in which one crosspiece 70 is shared by the adjoining pixel structure 102.

[0136] Next, several modified embodiments of the arrangement of the crosspiece 70 will be explained with reference to FIGS. 12 to 16.

[0137] At first, the crosspiece according to the first modified embodiment is shown in FIG. 12. The crosspiece 70 includes windows 70a for surrounding at least one pixel structure 102. The representative illustrative arrangement is as follows. That is, for example, the crosspiece 70 itself is formed to have a plate-shaped configuration, and the windows (openings) 70a each having a shape similar to the outer contour of the pixel structure 102 are formed at the positions corresponding to the pixel structures 102. Accordingly, an arrangement is given, in which all of the side surfaces of the pixel structures 102 are surrounded by the crosspiece 70. Thus, the actuator substrate 18 and the optical waveguide plate 12 are secured to one another more tightly.

[0138] As shown in FIG. 13, the crosspiece according to the second modified embodiment includes stripe-shaped openings 220 each of which extends in the direction of the array of the pixel structures and each of which surrounds the array of the pixel structures. Each of the openings 220 has an opening width which is enough to include one or more arrays. This embodiment is illustrative of a case in which the opening 220 has an opening width which includes one array of the group of pixel structures 102.

[0139] As shown in FIG. 14, the crosspiece 70 according to the third modified embodiment has a shape extending linearly along the direction of the array of the pixel structures 102. In this arrangement, as in a crosspiece 70 according to a fourth modified embodiment shown in FIG. 15, for example, it is also preferable to use a wire member 222 having a substantially circular cross section. The embodiment shown in FIG. 15 is illustrative of the case in which the wire member 222 for constructing the crosspiece 70 is secured to the actuator substrate 18 by using an adhesive 224. The cross-sectional configuration of the wire member 222 include, for example, the circular configuration as described above as well as elliptic configurations and polygonal configurations such as hexagon and octagon.

[0140] As shown in FIG. 16, the crosspiece 70 according to the fifth modified embodiment is arranged and formed with ceramics integrally with the actuator substrate 18 at portions other than the pixel structures 102, of the actuator substrate 18.

[0141] In this embodiment, it is possible to improve the mechanical strength of the portion at which the crosspiece 70 is formed on the actuator substrate 18. Accordingly, the rigidity of the actuator substrate 18 is enhanced. As a result, for example, the crosspiece 70 can be used to protect the actuator element 14, especially the vibrating section 22 thereof formed on the actuator substrate 18 when the actuator substrate 18 is carried and stored.

[0142] Explanation will now be made for the respective constitutive components of the display device Da, especially, for example, for selection of materials for the respective constitutive components.

[0143] The light 10 to be introduced into the optical waveguide plate 12 may be any one of those of ultraviolet, visible, and infrared regions. Those usable as the light source 100 include, for example, incandescent lamp, deuterium discharge lamp, fluorescent lamp, mercury lamp, metal halide lamp, halogen lamp, xenon lamp, tritium lamp, light emitting diode, laser, plasma light source, hot cathode tube, and cold cathode tube.

[0144] It is preferable that the vibrating section 22 is composed of a highly heat-resistant material, because of the following reason. That is, when the actuator element 14 has the structure in which the vibrating section 22 is directly supported by the fixed section 24 without using any material such as an organic adhesive which is inferior in heat resistance, the vibrating section 22 is preferably composed of a highly heat-resistant material so that the vibrating section 22 is not deteriorated in quality at least during the formation of the shape-retaining layer 26.

[0145] It is preferable that the vibrating section 22 is composed of an electrically insulative material in order to electrically separate the wiring (for example, row selection line) connected to the row electrode 28a of the pair of electrodes 28 formed on the actuator substrate 18, from the wiring (for example, signal

line) connected to the column electrode 28b.

[0146] Therefore, the vibrating section 22 may be composed of a material such as a highly heat-resistant metal and a porcelain enamel produced by coating a surface of such a metal with a ceramic material such as glass. However, the vibrating section 22 is optimally composed of ceramics.

[0147] Those usable as the ceramics for constructing the vibrating section 22 include, for example, stabilized zirconium oxide, aluminum oxide, magnesium oxide, titanium oxide, spinel, mullite, aluminum nitride, silicon nitride, glass, and mixtures thereof. Stabilized zirconium oxide is especially preferred because of, for example, high mechanical strength obtained even when the thickness of the vibrating section 22 is thin, high toughness, and small chemical reactivity with the shape-retaining layer 26 and the pair of electrodes 28. The term "stabilized zirconium oxide" includes stabilized zirconium oxide and partially stabilized zirconium oxide. Stabilized zirconium oxide has a crystal structure such as cubic crystal, and hence it does not cause phase transition.

[0148] On the other hand, zirconium oxide causes phase transition between monoclinic crystal and tetragonal crystal at about 1000 DEG C. Cracks appear during the phase transition in some cases. Stabilized zirconium oxide contains 1 to 30 mole % of a stabilizer such as calcium oxide, magnesium oxide, yttrium oxide, scandium oxide, ytterbium oxide, cerium oxide, and oxides of rare earth metals. In order to enhance the mechanical strength of the vibrating section 22, the stabilizer preferably comprises yttrium oxide. In this composition, yttrium oxide is contained preferably in an amount of 1.5 to 6 mole %, and more preferably 2 to 4 mole %. It is preferable that aluminum oxide is further contained in an amount of 0.1 to 5 mole %.

[0149] The crystal phase may be, for example, a mixed phase of cubic crystal + monoclinic crystal, a mixed phase of tetragonal crystal + monoclinic crystal, and a mixed phase of cubic crystal + tetragonal crystal + monoclinic crystal. However, among them, most preferred are those having a principal crystal phase composed of tetragonal crystal or a mixed phase of tetragonal crystal + cubic crystal, from viewpoints of strength, toughness, and durability.

[0150] When the vibrating section 22 is composed of ceramics, a large number of crystal grains construct the vibrating section 22. In order to increase the mechanical strength of the vibrating section 22, the crystal grains preferably have an average grain diameter of 0.05 to 2 μm , and more preferably 0.1 to 1 μm .

[0151] The fixed section 24 preferably composed of ceramics. The fixed section 24 may be composed of the same ceramic material as that used for the vibrating section 22, or the fixed section 24 may be composed of a ceramic material different from that used for the vibrating section 22. Those usable as the ceramic material for constructing the fixed section 24 include, for example, stabilized zirconium oxide, aluminum oxide, magnesium oxide, titanium oxide, spinel, mullite, aluminum nitride, silicon nitride, glass, and mixtures thereof, in the same manner as the material for the vibrating section 22.

[0152] Especially, those preferably adopted for the actuator substrate 18 used in the display device Da according to the first embodiment include, for example, materials containing a major component of zirconium oxide, materials containing a major component of aluminum oxide, and materials containing a major component of a mixture thereof. Among them, those containing a major component of zirconium oxide are more preferable.

[0153] Clay or the like is added as a sintering aid in some cases. However, it is necessary to control components of the sintering aid in order not to contain an excessive amount of those liable to form glass such as silicon oxide and boron oxide because of the following reason. That is, although the materials which are liable to form glass are advantageous to join the actuator substrate 18 to the shape-retaining layer 26, the materials facilitate the reaction between the actuator substrate 18 and the shape-retaining layer 26, making it difficult to maintain a predetermined composition of the shape-retaining layer 26. As a result, the materials make a cause to deteriorate the element characteristics.

[0154] That is, it is preferable that silicon oxide or the like in the actuator substrate 18 is restricted to have a weight ratio of not more than 3 %, and more preferably not more than 1 %. The term "major component" herein refers to a component which exists in a proportion of not less than 50 % in weight ratio.

[0155] As described above, those usable as the shape-retaining layer 26 include piezoelectric/electrostrictive layers and anti-ferroelectric layers. However, when the piezoelectric/electrostrictive layer is used as the shape-retaining layer 26, those usable as the piezoelectric/electrostrictive layer include ceramics containing, for example, lead zirconate, lead magnesium niobate, lead nickel niobate, lead zinc niobate, lead manganese niobate, lead magnesium tantalate, lead nickel tantalate, lead antimony stannate, lead titanate, barium titanate, lead magnesium tungstate, and lead cobalt niobate, or any combination of them.

[0156] It is needless to say that the major component contains the compound as described above in an

amount of not less than 50 % by weight. Among the ceramics described above, the ceramics containing lead zirconate is most frequently used as the constitutive material for the piezoelectric/electrostrictive layer for constructing the shape-retaining layer 26.

[0157] When the piezoelectric/electrostrictive layer is composed of ceramics, it is also preferable to use ceramics obtained by appropriately adding, to the ceramics described above, oxide of, for example, lanthanum, calcium, strontium, molybdenum, tungsten, barium, niobium, zinc, nickel, and manganese, or any combination thereof or another type of compound thereof. For example, it is preferable to use ceramics containing a major component composed of lead magnesium niobate, lead zirconate, and lead titanate and further containing lanthanum and strontium.

[0158] The piezoelectric/electrostrictive layer may be either dense or porous. When the piezoelectric/electrostrictive layer is porous, its porosity is preferably not more than 40 %.

[0159] When the anti-ferroelectric layer is used as the shape-retaining layer 26, it is desirable to use, as the anti-ferroelectric layer, a compound containing a major component composed of lead zirconate, a compound containing a major component composed of lead zirconate and lead stannate, a compound obtained by adding lanthanum to lead zirconate, and a compound obtained by adding lead zirconate and lead niobate to a component composed of lead zirconate and lead stannate.

[0160] Especially, when an anti-ferroelectric film, which contains lead zirconate and lead stannate as represented by the following composition, is applied as a film-type element such as the actuator element 14, it is possible to perform driving at a relatively low voltage. Therefore, application of such an anti-ferroelectric film is especially preferred. $\text{Pb}_{0.99}\text{Nb}_{0.02}[(\text{Zr}_x\text{Sn}_{1-x})_{1-y}\text{Ti}_y]\text{O}_{3.98}$ wherein, $0.5 < x < 0.6$, $0.05 < y < 0.063$, $0.01 < \text{Nb} < 0.03$

[0161] The anti-ferroelectric film may be porous. When the anti-ferroelectric film is porous, it is desirable that the porosity is not more than 30 %.

[0162] It is preferable that the thickness of the vibrating section 22 of the actuator substrate 18 have a dimension identical to that of the thickness of the shape-retaining layer 26 formed on the vibrating section 22, because of the following reason. That is, if the thickness of the vibrating section 22 is extremely thicker than the thickness of the shape-retaining layer 26 (if the former is different from the latter by not less than one figure), when the shape-retaining layer 26 makes shrinkage upon sintering, the vibrating section 22 behaves to inhibit the shrinkage. For this reason, the stress at the boundary surface between the shape-retaining layer 26 and the actuator substrate 18 is increased, and consequently they are easily peeled off from each other. On the contrary, when the dimension of the thickness is in an identical degree between the both, it is easy for the actuator substrate 18 (vibrating section 22) to follow the shrinkage of the shape-retaining layer 26 upon sintering. Accordingly, such dimension of the thickness is preferred to achieve integration. Specifically, the vibrating section 22 preferably has a thickness of 1 to 100 μm , more preferably 3 to 50 μm , and much more preferably 5 to 20 μm . On the other hand, the shape-retaining layer 26 preferably has a thickness of 5 to 100 μm , more preferably 5 to 50 μm , and much more preferably 5 to 30 μm .

[0163] The pair of electrodes 28 formed on the shape-retaining layer 26 are allowed to have an appropriate thickness depending on the use or application. However, the thickness is preferably 0.01 to 50 μm , and more preferably 0.1 to 5 μm . The pair of electrodes 28 are preferably composed of a conductive metal which is solid at room temperature. The metal includes, for example, metal simple substances or alloys containing, for example, aluminum, titanium, chromium, iron, cobalt, nickel, copper, zinc, niobium, molybdenum, ruthenium, rhodium, silver, stannum, tantalum, tungsten, iridium, platinum, gold, and lead. It is needless to say that these elements may be contained in an arbitrary combination.

[0164] The optical waveguide plate 12 has an optical refractive index with which the light 10 introduced into the inside thereof is totally reflected by the front and back surfaces without being transmitted to the outside of the optical waveguide plate 12. It is necessary for the optical waveguide plate 12 to use those having a large and uniform light transmittance in the wavelength region of the light to be introduced. The material for the optical waveguide plate 12 is not specifically limited provided that it satisfies the foregoing characteristic. However, specifically, those generally used for the optical waveguide plate 12 include, for example, glass, quartz, light-transmissive plastics such as acrylic plastics, light-transmissive ceramics, structural materials comprising a plurality of layers composed of materials having different refractive indexes, and those having a surface coating layer.

[0165] The color layer such as the color filter 40 and the color scattering element included in the pixel structure 102 is the layer which is used to extract only the light in a specified wavelength region, and it includes, for example, those which develop the color by absorbing, transmitting, reflecting, or scattering the light at a specified wavelength, and those which convert incident light into light having a different wavelength. The transparent member, the semitransparent member, and the opaque member can be used singly or in combination.

[0166] The color layer is constructed, for example, as follows. That is, the color layer includes, for example, those obtained by dispersing or dissolving a dyestuff or a fluorescent material such as dye, pigment, and ion in rubber, organic resin, light-transmissive ceramics, glass, liquid or the like, those obtained by applying the dyestuff or the fluorescent material on the surface of the foregoing material, those obtained by sintering, for example, the powder of the dyestuff or the fluorescent material, and those obtained by pressing and solidifying the powder of the dyestuff or the fluorescent material. As for the material quality and the structure, the materials may be used singly, or the materials may be used in combination.

[0167] The difference between the color filter 40 and the color scattering element 44 lies in whether or not the brightness value of leakage light obtained by reflection and scattering effected by only the color layer is not less than 0.5-fold the brightness value of leakage light obtained by reflection and scattering effected by the entire structure including the pixel structure 102 and the actuator element 14, when the light emission state is given by allowing the pixel structure 102 to make contact with the optical waveguide plate 12 into which the light 10 is introduced. If the former brightness value is not less than 0.5-fold the latter brightness value, the color layer is defined to be the color scattering element 44. If the former brightness value is less than 0.5-fold the latter brightness value, the color layer is defined to be the color filter 40.

[0168] The measuring method is specifically exemplified as follows. That is, it is assumed that when the color layer is singly allowed to make contact with the back surface of the optical waveguide plate 12 into which the light 10 is introduced, $A(nt)$ represents the front brightness of the light which passes from the color layer through the optical waveguide plate 12 and which leaks to the front surface. Further, it is assumed that when the pixel structure 102 is allowed to make contact with the surface of the color layer on the side opposite to the side to make contact with the optical waveguide plate 12, $B(nt)$ represents the front brightness of the light which leaks to the front surface. If $A \geq 0.5 \times B$ is satisfied, the color layer is the color scattering element 44. If $A < 0.5 \times B$ is satisfied, the color layer is the color filter 40.

[0169] The front brightness is the brightness measured by arranging a luminance meter so that the line to connect the color layer to the luminance meter for measuring the brightness is perpendicular to the surface of the optical waveguide plate 12 to make contact with the color layer (the detection surface of the luminance meter is parallel to the plate surface of the optical waveguide plate).

[0170] The color scattering element 44 is advantageous in that the color tone and the brightness are scarcely changed depending on the thickness of the layer. Accordingly, those applicable as the method for forming the layer includes various methods such as the screen printing which requires inexpensive cost although it is difficult to strictly control the layer thickness.

[0171] Owing to the arrangement in which the color scattering element 44 also serves as the displacement-transmitting section, it is possible to simplify the process for forming the layer. Further, it is possible to obtain a thin entire layer thickness. Therefore, the thickness of the entire display device can be made thin. Further, it is possible to avoid the decrease in displacement amount of the actuator element 14, and improve the response speed.

[0172] The color filter 40 has the following advantages. That is, when the layer is formed on the side of the optical waveguide plate 12, the layer can be easily formed, because the optical waveguide plate 12 is flat, and it has high surface smoothness. Thus, the range of process selection is widened, and the cost becomes inexpensive. Further, it is easy to control the layer thickness which may affect the color tone and the brightness.

[0173] The method for forming the film of the color layer such as the color filter 40 and the color scattering element 44 is not specifically limited, to which it is possible to apply a variety of known film formation methods. Those usable include, for example, a film lamination method in which the color layer in a chip form or in a film form is directly stuck on the surface of the optical waveguide plate 12 or the actuator element 14, as well as a method for forming the color layer in which, for example, powder, paste, liquid, gas, or ion to serve as a raw material for the color layer is formed into a film in accordance with the thick film formation method such as the screen printing, the photolithography method, the spray dipping, and the application, or in accordance with the thin film formation method such as the ion beam, the sputtering, the vacuum evaporation, the ion plating, CVD, and the plating.

[0174] Next, the operation of the display device Da according to the first embodiment will be briefly described with reference to FIG. 1. At first, the light 10 is introduced, for example, from the end portion of the optical waveguide plate 12. In this embodiment, all of the light 10 is totally reflected at the inside of the optical waveguide plate 12 without being transmitted through the front and back surfaces thereof by controlling the magnitude of the refractive index of the optical waveguide plate 12. In this embodiment, the optical waveguide plate 12 desirably has a reflection factor n of 1.3 to 1.8, and more desirably 1.4 to 1.7.

[0175] In this state, when a certain actuator element 14 is in the selected state, the actuator element 14 makes bending displacement so that it is convex toward the optical waveguide plate 12, i.e., the actuator

element 14 makes bending displacement in the first direction, and the end surface of the pixel structure 102 contacts, at a distance of not more than the wavelength of light 10, with the optical waveguide plate 12, then the light 10, which has been subjected to total reflection, is reflected by the surface of the pixel structure 102, and it behaves as scattered light 42. A part of the scattered light 42 is reflected again in the optical waveguide plate 12. However, almost all of the scattered light 42 is not reflected by the optical waveguide plate 12, and it is transmitted through the front surface (face) of the optical waveguide plate 12. Accordingly, the pixel corresponding to the actuator element 14 is in the ON state, and the ON state is expressed in a form of light emission. Further, the color of the light emission corresponds to the color of the color filter 40 or the color scattering element 44 included in the pixel structure 102.

[0176] That is, in the display device Da, the presence or absence of light emission (leakage light) at the front surface of the optical waveguide plate 12 can be controlled depending on the presence or absence of the contact of the pixel structure 102 with the optical waveguide plate 12. Especially, in the display device Da according to the first embodiment, one unit for making the displacement action of the pixel structure 102 in the direction to make contact or separation with respect to the optical waveguide plate 12 may be recognized, for example, as one pixel. A large number of the pixels are arranged in a matrix configuration or in a zigzag configuration concerning the respective rows. Therefore, it is possible to display a picture image (characters and graphics) corresponding to the image signal on the front surface of the optical waveguide plate 12, i.e., on the display surface, in the same manner as in the cathode ray tube, the liquid crystal display device, and the plasma display, by controlling the displacement action in each of the pixels in accordance with the attribute of the inputted image signal.

[0177] In the gradation control over the display, for example, it is possible to adopt the voltage modulation system and the time modulation system. For example, in the voltage modulation system, when one row is selected, for example, voltages corresponding to the gradation of the respective actuator elements 14 are applied to a large number of the actuator elements 14 arranged on the selected row. The respective actuator elements 14 are displaced in the first direction in accordance with the level of the applied voltages. In the case of an example shown in FIG. 17, the displacement is made linearly to give displacement amounts of Z1, Z2,... Zn for voltages V1, V2,... Vn respectively.

[0178] For example, as shown in FIG. 14, at a point of time at which the actuator element 14 is displaced in a displacement amount of Z1, the distance D between the first principal surface of the pixel structure 102 and the back surface of the optical waveguide plate 12 becomes a distance corresponding to the wavelength λ of the light 10 (the light 10 introduced into the optical waveguide plate 12). For example, at a point of time at which the actuator element 14 is displaced in a displacement amount of Zn, ideally the first principal surface of the pixel structure completely contacts with the back surface of the optical waveguide plate 12.

[0179] When the pixel structure 102 approaches the back surface of the optical waveguide plate 12, and the distance between the first principal surface of the pixel structure 102 and the back surface of the optical waveguide plate 12 is not more than the wavelength λ of the light 10, then the amount of the scattered light radiated from the surface of the optical waveguide plate 12 is increased in accordance with the decrease in the distance, and the brightness level of the pixel corresponding to the actuator element 14 is increased.

[0180] This phenomenon can be explained as follows in accordance with the evanescent effect. In general, as shown in FIG. 18, a region (evanescent region) 104, which is brought about on account of discharge of light (evanescent wave), exists, for example, around the back surface of the optical waveguide plate 12. The depth dp of the evanescent region 104 represents a depth at which the energy value of the evanescent wave is $1/e$ at the boundary between the optical waveguide plate 12 and the external space (the back surface of the optical waveguide plate 12 in this embodiment). The depth dp is given by the following expression (1). The energy E of the evanescent wave is given by the following expression (2).

$$(1) \text{ } dp = \lambda / [2 \pi n_1 2\sqrt{\sin^2 \theta - (n_2/n_1)^2}]$$

$$(2) \text{ } E = \exp\{-(D/dp)\}$$

[0181] In the expression, λ represents the wavelength of the light 10, and θ represents the angle (angle of incidence) at which the light 10 comes from the optical waveguide plate 12 into the external space as shown in FIG. 18. Further, n_1 represents the optical refractive index of the optical waveguide plate 12, and n_2 represents the optical refractive index of the external space.

[0182] According to the expression (1), it can be postulated that the depth dp is increased as the wavelength λ of the light 10 is increased, and the depth dp is increased as the angle of incidence θ approaches the critical angle. On the other hand, as shown in the expression (2), the energy E of the evanescent wave is increased as the object approaches the back surface of the optical waveguide

plate 12, and the energy E is attenuated exponentially as the object is separated from the back surface of the optical waveguide plate 12. The amount of light (scattered light 42) reflected by the surface of the pixel structure 102 is proportional to the energy E of the evanescent wave. Accordingly, the amount of scattered light 42 is increased as the pixel structure 102 approaches the back surface of the optical waveguide plate 12, and the amount of light 42 is decreased exponentially as the pixel structure 102 is separated from the back surface of the optical waveguide plate 12.

[0183] In this process, the actuator element 14 continues to retain the displacement amount determined upon the selection owing to the shape-retaining effect exerted by the shape-retaining layer 26 of the actuator section 14. Accordingly, the light emission state of the pixel is maintained for a certain period of time.

[0184] When the display device is applied to the color display system, for example, it is preferable to construct one pixel by using three pixel structures adjacent to one another (RGB arrangement) or four pixel structures adjacent to one another (checked arrangement or the like), for example, depending on the color scheme of the color filter 40 (for example, three primary color filters and complementary color filters) included in the pixel structure 102.

[0185] As described above, the display device Da according to the first embodiment comprises the crosspiece 70 at the portions other than the pixel structure 102 between the optical waveguide plate 12 and the actuator substrate 18.

[0186] If the optical waveguide plate 12 and the actuator substrate 18 are fixed at only the circumferential edge of the screen without providing the crosspiece 70, then the displacement standard is changed every time when the vibration occurs in the actuator substrate 18 due to the movement of the actuator element 14, and the ON/OFF operation of the pixel does not correspond to the displacement of the actuator element 14 in some cases.

[0187] However, in the display device Da according to the first embodiment, the crosspiece 70 is provided as described above. Therefore, even when a certain actuator element 14 makes the displacement action, the vibration is absorbed by the crosspiece 70. Thus, the inconvenience such as the change in displacement standard does not take place.

*[0188] The support for the optical waveguide plate 12, which is effected by the crosspiece 70 formed around the pixel structure 102, makes it possible to easily obtain the uniform gap "g" between the pixel structure 102 and the optical waveguide plate 12 for all of the pixels. Further, the size of the gap "g" can be easily controlled by arbitrarily changing the height of the crosspiece 70. As a result, it is possible to obtain the uniform brightness for all of the pixels.

[0189] Especially, as shown in FIG. 11, when the crosspieces 70 are formed at the portions around the four corners of the pixel structure 102, the arrangement is given, in which the four crosspieces 70 are formed for the unit of the pixel structure 102. Accordingly, the vibration, which is caused by the displacement action of a certain actuator element 14, is effectively absorbed. Little influence is exerted on the displacement action of the other actuator elements 14. As a result, it is possible to obtain good correspondence between the ON operation/OFF operation and the displacement for all of the pixels. It is possible to faithfully display the picture image corresponding to the inputted image signal. Further, the actuator substrate 18 and the optical waveguide plate 12 are tightly secured to one another.

[0190] As shown in FIG. 12, when the crosspiece 70 has the windows 70a for surrounding at least one pixel structure 102, the arrangement is given, in which all of the side surfaces of the pixel structure 102 is surrounded by the crosspiece 70. The actuator substrate 18 and the optical waveguide plate 12 are secured to one another more tightly. Further, the vibration, which is caused by the displacement action of a certain actuator element 14, does not affect the displacement action of the other actuator elements 14 at all.

[0191] Next, a display device Db according to the second embodiment will be explained with reference to FIG. 19. Components or parts corresponding to those shown in FIG. 1 are designated by the same reference numerals, duplicate explanation of which will be omitted.

[0192] As shown in FIG. 19, the display device Db according to the second embodiment is constructed in approximately the same manner as the display device Da according to the first embodiment (see FIG. 1). However, the former is different from the latter in that a gap-forming layer 50 is provided between the forward end of the crosspiece 70 and the optical waveguide plate 12.

[0193] Owing to the presence of the gap-forming layer 50, the gap-forming layer 50 can be used to adjust the gap "g" between the pixel structure 102 and the optical waveguide plate 12. Accordingly, an effect is obtained in that the gap "g" can be made uniform for all of the pixels. This embodiment is advantageous in that the gap "g" can be easily adjusted when the position of the upper surface of the pixel structure 102 is

aligned with the position of the upper surface of the crosspiece 70 (surface to make contact with the gap-forming layer 50).

[0194] The method to realize this arrangement includes, for example, a method in which a flat glass surface is used to simultaneously form the pixel structure 102 and the crosspiece 70, and a method in which the pixel structure 102 and the crosspiece 70 are formed, followed by polishing to perform figuring.

[0195] The constitutive material for the gap-forming layer 50 includes, for example, metal films, films containing carbon black, black pigment, or black dye, and transparent films having low light-scattering property. Accordingly, the gap-forming layer 50 can be allowed to simultaneously have the function of a black matrix.

[0196] Especially, when a metal film composed of, for example, Cr, Al, Ni, or Ag is used as the gap-forming layer 50, the attenuation and the scattering of the light transmitted through the optical waveguide plate can be suppressed, because of a small amount of light is absorbed thereby. Therefore, such a metal film is used especially preferably.

[0197] When a film containing carbon black, black pigment, or black dye is used as the gap-forming layer 50, then the light-absorbing performance is excellent, and it is possible to improve the contrast. When a transparent film having a poor light-scattering property is used as the gap-forming layer 50, then the light scattering can be suppressed, and the contrast can be enhanced by combining the film with an adhesive having an excellent light-absorbing property (or an adhesive having a light-absorbing property enhanced by adding black dye or black pigment).

[0198] The size of the gap-forming layer 50 is set as follows, for example, as exemplified by the case in which the actuator element 14 is displaced to be convex toward the optical waveguide plate 12. That is, the small limit (minimum value) of the gap amount "g" is set to be such a degree that the leakage of light caused by the evanescent effect upon the OFF operation of the pixel structure 102 can be neglected. The large limit (maximum value) of the gap amount "g" is set to be within a range in which the pixel structure 102 can make contact with the optical waveguide plate 12 in accordance with the displacement of the actuator element 14. Therefore, the thickness of the gap-forming layer 50 is adjusted so that the gap amount "g" is within the range described above. Especially preferably, the thickness is about 1 to 5 μm . However, the difference in height between the pixel structure 102 and the crosspiece 70 is controllable depending on various embodiments of the display device. The thickness of the gap-forming layer 50 may be optimized in accordance therewith.

[0199] The display device Db according to the second embodiment shown in FIG. 19 is illustrative of the case in which the width of the gap-forming layer 50 is larger than the width of the crosspiece 70. Alternatively, as in a display device Dba according to a modified embodiment shown in FIG. 20, the width of the gap-forming layer 50 may be made smaller than the width of the crosspiece 70. In this embodiment, the contact area of the gap-forming layer 50 with respect to the optical waveguide plate 12 is decreased. Therefore, it is possible to reduce unnecessary scattered light. This embodiment is advantageous to improve the contrast.

[0200] Next, a display device Dc according to the third embodiment will be explained with reference to FIG. 21. Components or parts corresponding to those shown in FIG. 19 are designated by the same reference numerals, duplicate explanation of which will be omitted.

[0201] As shown in FIG. 21, the display device Dc according to the third embodiment is constructed in approximately the same manner as the display device Db according to the second embodiment (see FIG. 19). However, the former is different from the latter in that a plurality of recesses 110 are formed on the surface of the pixel structure 102. The recesses may be formed as a continuous groove.

[0202] According to the display device Dc concerning the third embodiment, an approximately identical contact area with respect to the optical waveguide plate 12 can be realized for the respective pixel structures 102 by defining the size or the number of formed recesses 110 in conformity with the area of the pixel structure 102 opposing to the optical waveguide plate 12. Thus, it is possible to obtain a uniform brightness for all of the pixels.

[0203] The presence of the recess 110 mitigates the tight adherence between the pixel structure 102 and the optical waveguide plate 12. The pixel structure 102 is smoothly separated from the optical waveguide plate 12. As a result, the pixel structure 102 can be prevented from adhesion to the optical waveguide plate 12. Accordingly, it is possible to effectively realize a high response speed.

[0204] Next, a display device Dd according to the fourth embodiment will be explained with reference to FIG. 22. Components or parts corresponding to those shown in FIG. 19 are designated by the same reference numerals, duplicate explanation of which will be omitted.

[0205] As shown in FIG. 22, the display device Dd according to the fourth embodiment is constructed in

approximately the same manner as the display device Db according to the second embodiment. However, the former is different from the latter in that a step 112 is formed at the circumferential edge of the pixel structure 102.

[0206] According to the display device Dd concerning the fourth embodiment, the provision of the step 112 at the circumferential edge of the pixel structure 102 makes it possible to obtain a constant area of the portion of the pixel structure 102 to make contact with the optical waveguide plate 12 for all of the pixels. It is possible to obtain a uniform brightness for all of the pixels. Further, the presence of the step 112 mitigates the tight adherence between the pixel structure 102 and the optical waveguide plate 12. Therefore, the pixel structure 102 can be prevented from adhesion to the optical waveguide plate 12. Accordingly, it is possible to effectively realize a high response speed.

[0207] Next, a display device De according to the fifth embodiment will be explained with reference to FIG. 23. Components or parts corresponding to those shown in FIG. 19 are designated by the same reference numerals, duplicate explanation of which will be omitted.

[0208] As shown in FIG. 23, the display device De according to the fifth embodiment is constructed in approximately the same manner as the display device Db according to the second embodiment. However, the former is different from the latter in that the surface of the pixel structure 102 is formed to have a concave configuration 114.

[0209] When the actuator element 14 makes displacement, the central portion of the pixel structure 102 tends to have the largest displacement amount. Therefore, the surface of the pixel structure 102 has the concave configuration 114 so that the central portion of the pixel structure 102 is made concave to give the depth, for example, corresponding to the displacement amount described above. By doing so, the surface of the pixel structure 102 is approximately flat when the actuator element 14 makes displacement to allow the pixel structure 102 to make contact with the optical waveguide plate 12. Thus, it is possible to increase the contact area of the pixel structure 102 with respect to the optical waveguide plate 12.

[0210] In this embodiment, when the depth of the concave curve of the concave configuration 114 is increased, a state is given, in which the central portion of the pixel structure 102 does not arrive at the optical waveguide plate 12 when the pixel structure 102 makes contact with the optical waveguide plate 12, giving a state in which a recess is formed on the surface of the pixel structure 102 in a simulated manner. Accordingly, the tight adherence between the pixel structure 102 and the optical waveguide plate 12 is mitigated. Thus, the pixel structure 102 is smoothly separated from the optical waveguide plate 12. As a result, the pixel structure 102 can be prevented from adhesion to the optical waveguide plate 12, and it is possible to effectively realize a high response speed.

[0211] The arrangement of the display device Dc according to the third embodiment (the recess 110 is formed on the surface of the pixel structure 102), the arrangement of the display device Dd according to the fourth embodiment (the step 112 is formed on the surface of the pixel structure 102), and the arrangement of the display device De according to the fifth embodiment (the surface of the pixel structure 102 has the concave configuration 114) may be realized singly respectively, or they may be arbitrarily combined with each other. The combination of them makes it possible to obtain the synergistic effect based on the respective arrangements. FIG. 24 is illustrative of a display device Df according to the sixth embodiment in which all of the arrangements of the display devices Dc to De according to the third to fifth embodiments are combined with each other.

[0212] The display devices Da to Df according to the first to sixth embodiments can be used singly. Besides, the display devices Da to Df according to these embodiments may be used as one display element 252 included in a large screen display apparatus 250 as shown in FIG. 25. FIG. 25 shows an illustrative arrangement in which seven display elements 252 are arranged in the vertical direction, and eighteen display elements 252 are arranged in the lateral direction on a back surface of a light-introducing plate 254 having a display area for a large screen. In this arrangement, those which have a large and uniform light transmittance in the visible light region, such as glass plates and acrylic plates are used for the light-introducing plate 254. The respective display elements 252 are connected to one another by means of, for example, wire bonding, soldering, face connector, and back connector so that signals may be mutually supplied.

[0213] The large screen display apparatus 250 shown in FIG. 25 uses the display devices Da to Df according to the first to sixth embodiments, as the display devices applied to the respective display elements 252. In each of the display elements 252, the arrangement of the pixels comprises 32 individuals in the horizontal direction and 32 individuals in the vertical direction. In the display devices Da to Df according to these embodiments, when the pixels concerning the respective rows are arranged in the zigzag form, it is possible to provide an extremely small arrangement pitch of the pixels in the horizontal direction. When the number of arranged pixels in the horizontal direction is the same as that in the vertical direction, the entire planar configuration has a vertical length which is longer than a horizontal length.

[0214] The large screen display apparatus 250 shown in FIG. 25 represents the illustrative arrangement in

which the display elements 252 including the optical waveguide plates 12 are arranged in the matrix form on the plate surface of the large light-introducing plate 254. Alternatively, the large light-introducing plate 252 may be omitted so that the large screen display apparatus 250 is constructed by arranging, in a matrix form, the display elements 252 including the optical waveguide plates 12. In such an arrangement, the large number of optical waveguide plates 12 arranged in the matrix form also serve as the large light-introducing plate 254. Besides the foregoing arrangements, it is also allowable that the large screen display apparatus 250 is constructed by arranging, in a matrix form, display elements 252 without including any optical waveguide plate 12 on the plate surface of the large light-introducing plate 254.

[0215] It is preferable that the light-introducing plate 254 has a refractive index which is similar to that of the optical waveguide plate 12. When the light-introducing plate 254 and the optical waveguide plates 12 are stuck to one another, a transparent adhesive may be used. The adhesive preferably has a uniform and high transmittance in the visible light region, in the same manner as the optical waveguide plate 12 and the light-introducing plate 254. It is desirable for the adhesive to set its refractive index which is near to those of the light-introducing plate 254 and the optical waveguide plate 12 in order to ensure brightness of the screen.

[0216] Next, methods for producing the display devices Da to Df according to the first to sixth embodiments will be explained with reference to FIGS. 26A to 62B.

[0217] At first, in the first production method, as shown in FIG. 26A, the crosspiece 70 is formed, for example, by means of the film formation method at the portions on which the actuator element 14 is not formed, of the first principal surface of the actuator substrate 18. The material quality of the crosspiece 70 is not specifically limited. However, it is preferable to use those having a hard hardness after the hardening. In the case of a resin, for example, it is preferable to use a thermosetting resin (for example, one-component or two-component epoxy resin). The thickness of the crosspiece is about 50 to 100 μm .

[0218] The film formation method includes, for example, the screen printing method, the photolithography method, and the film lamination method.

[0219] The photolithography method includes, for example, a first method in which a film 120 to form the crosspiece 70 is exposed and developed so that the crosspiece 70 is formed as shown in FIGS. 27A to 27C, and a second method in which a material 124 to form the crosspiece 70 is embedded in an opening 122a of a mask 122 so that the crosspiece 70 is formed as shown in FIGS. 28A to 28C.

[0220] The first method is carried out, for example, in accordance with the following procedure. At first, as shown in FIG. 27A, the film 120 to form the crosspiece 70 is uniformly applied to the entire surface of the actuator substrate 18. Subsequently, as shown in FIG. 27B, the film 120 to form the crosspiece 70 is selectively exposed through a mask 130 having an opening at the portion for forming the crosspiece 70. After that, as shown in FIG. 27C, the film 120 to form the crosspiece 70 is subjected to development. When the development is performed, then the exposed portion of the film 120 to form the crosspiece 70 remains as the crosspiece 70, and the non-exposed portion is melted and removed.

[0221] Those usable as the method for applying the film for constructing the crosspiece 70 includes, for example, application by printing, application by spinner, DIP (immersing method), roll coater, and glass press. It is also possible to apply a photosensitive film having the same function as that of the photoresist.

[0222] On the other hand, the second method is carried out in accordance with the following procedure. At first, as shown in FIG. 28A, a photoresist material is applied, followed by execution of exposure and development to form a mask 122 based on the photoresist on the actuator substrate 18. The mask 122 has an opening 122a at the portion for forming the crosspiece 70.

[0223] Subsequently, as shown in FIG. 28B, a material 124 to form the crosspiece 70 is embedded in the opening 122a of the mask 112. After that, as shown in FIG. 28C, the mask 122 is removed. Thus, the crosspiece 70 is formed on the actuator substrate 18.

[0224] In the first method (application method), the selectivity is low for the material for the film 120 for constructing the crosspiece 70, because of the condition of the exposure. However, in the second method (embedding method), it is unnecessary to consider the exposure or the photosensitive property. Therefore, the degree of freedom is improved for the selectivity for the material of the film 120 for constructing the crosspiece 70.

[0225] The film lamination method is shown in FIG. 29. In this method, a film (film formed with a material to construct the crosspiece: dry film or the like) is previously subjected to cutting or stamping to prepare the crosspiece 70, and then the crosspiece 70 is laminated on the actuator substrate 18, for example, by the aid of an adhesive 132. When the crosspiece is laminated, for example, the vacuum packaging method or the laminate press method is used.

[0226] In the ceramic sintering method, for example, a portion, which is used to form a first layer

crosspiece 70, is formed on the actuator substrate 18, for example, by means of the film formation method, followed by sintering to integrate the actuator substrate 18 and the first layer crosspiece 70 into one unit.

[0227] The first production method will be explained again. As shown in FIG. 26B, the respective pixel structures 102 are formed on the respective actuator elements 14 of the actuator substrate 18, for example, by means of the film formation method. The various methods as shown in FIGS. 27A to 29 are adoptable as the film formation method.

[0228] As shown in FIG. 26C, before the crosspiece 70 and the pixel structure 102 on the actuator substrate 18 are hardened, the optical waveguide plate 12 is pressed against the crosspiece 70 and the pixel structure 102 on the actuator substrate 18. The optical waveguide plate 12 and the actuator substrate 18 are pressurized in the directions to make approach to one another. After that, the crosspiece 70 and the pixel structure 102 are hardened in this state to complete the device.

[0229] In the first production method, the actuator substrate 18 and the optical waveguide plate 12 are pressurized in the state in which at least the pixel structure 102 is not hardened. Therefore, the optical waveguide plate 12 presses the crosspiece 70 and the pixel structure 102 toward the actuator substrate 18 during the pressurizing process. The previously formed crosspiece 70 serves as a spacer to define the thickness of the pixel structure 102. As a result, when at least the pixel structure 102 is hardened, the upper surface of the crosspiece 70 and the upper surface of the pixel structure 102 form a substantially identical surface.

[0230] In this embodiment, a material, with which the pixel structure 102 is contracted upon the hardening of the pixel structure 102, is used as the constitutive material for the pixel structure 102. By doing so, it is possible to form a constant gap "g" between the pixel structure 102 and the optical waveguide plate 12 during the hardening of the crosspiece 70 and the pixel structure 102.

[0231] Another method is available to form the gap "g". For example, when the optical waveguide plate 12 is laminated and pressurized, then the pixel structure 102 may be heated and expanded, or the actuator element 14 may be displaced to allow the pixel structure 102 to make contact with the optical waveguide plate 12. The constant gap "g" is formed between the pixel structure 102 and the optical waveguide plate 12 by the contraction of the pixel structure 102 or by the displacement reset (restoration) of the actuator element 14.

[0232] Alternatively, it is possible to use the form in which the pixel structure 102 contacts with the optical waveguide plate 12 in the natural state. In this case, for example, as shown in FIG. 7, application may be made for the arrangement in which the pixel structure 102 makes displacement in the direction to make separation from the optical waveguide plate 12, concerning the displacement action of the actuator element 14.

[0233] The pressurizing method for the actuator substrate 18 and the optical waveguide plate 12 includes various loading methods such as the loading based on the weight, the vacuum packaging method, the CIP method (hydrostatic pressure loading method), the loading based on the flip chip bonding, the constant value control, and the low pressure press method.

[0234] Among them, the vacuum packaging method is shown in FIG. 30. In this method, the optical waveguide plate 12 is pressed against the actuator substrate 18, and they are placed in a vacuum packaging bag 140 to apply the vacuum to the bag 140. Thus, the actuator substrate 18 and the optical waveguide plate 12 are pressurized to one another. In this method, in order to suppress the generation of bubbles, it is preferable that an antifoaming agent is added to the adhesive and the pixel structure, and an antifoaming treatment is applied before the hardening process.

[0235] In the vacuum packaging method shown in FIG. 30 and in the CIP method, the actuator substrate 18 and the optical waveguide plate 12 can be uniformly pressurized even when the actuator substrate 18 involves any warpage or waviness. Accordingly, the optical waveguide plate 12 and the actuator substrate 18 are adapted to one another. Therefore, it is possible to form a constant gap "g" between all of the pixel structures 102 and the optical waveguide plate 12. It is noted that the vacuum packaging method may be combined with the CIP method.

[0236] The low pressure press method is shown in FIG. 31. In this method, the optical waveguide plate 12 is pressed against the actuator substrate 18, and they are placed between an upper die 142 and the lower die 144 to press them at a low pressure. In this method, the actuator substrate 18 is applied with a small stress. Therefore, the actuator element 14 can be prevented from damage or the like.

[0237] The method, which uses the loading based on the flip chip bonding, is preferably used, because it is possible to effect the position control, the pressurizing control, and the heating.

[0238] Next, the second production method will be explained with reference to FIGS. 32A to 32D. In the

second production method, the pixel structure 102 and the crosspiece 70 are formed on the optical waveguide plate 12, and the actuator substrate 18 is laminated and pressurized.

[0239] At first, as shown in FIG. 32A, the plurality of crosspieces 70 are formed, for example, by means of the film formation method at the portions other than the portions corresponding to the large number of pixels, of the optical waveguide plate 12. After that, as shown in FIG. 32B, the pixel structures 102 are formed, for example, by means of the film formation method at the portions corresponding to the large number of pixels, of the optical waveguide plate 12.

[0240] As shown in FIG. 32C, an adhesive 150 is applied to the upper surfaces of the actuator elements 14 and the positions corresponding to the crosspieces 70, of the first principal surface of the actuator substrate 18 previously formed with the actuator elements 14 at the portions corresponding to the pixels.

[0241] After that, before the crosspieces 70 and the pixel structures 102 on the optical waveguide plate 12 are hardened, the first principal surface side of the actuator substrate 18 is pressed against the crosspieces 70 and the pixel structures 102 on the optical waveguide plate 12. The optical waveguide plate 12 and the actuator substrate 18 are pressurized in the directions to make approach to one another. Subsequently, as shown in FIG. 32D, the crosspieces 70, the pixel structures 102, and the adhesive 150 are hardened in this state to complete the device.

[0242] According to the second production method, the pixel structure 102 is directly formed on the optical waveguide plate 12. Therefore, this method is advantageous in that the area of the pixel (contact area with respect to the optical waveguide plate 12) is easily defined. It is easy to obtain a uniform brightness for all of the pixels.

[0243] Also in this embodiment, in the case of the form in which the pixel structure 102 contacts with the optical waveguide plate 12 when the actuator element 14 is in the natural state, as shown in FIG. 7, application may be made for the arrangement in which the pixel structure 102 makes displacement in the direction to make separation from the optical waveguide plate 12, concerning the displacement action of the actuator element 14.

[0244] When the optical waveguide plate 12 is laminated and pressurized, then the pixel structure 102 may be heated and expanded, or the actuator element 14 may be displaced to allow the pixel structure 102 to make contact with the optical waveguide plate 12. By doing so, it is possible to form a constant gap "g" between the pixel structure 102 and the optical waveguide plate 12 during the hardening process for the crosspiece 70 and the pixel structure 102.

[0245] Next, the third production method will be explained with reference to FIGS. 33A to 33C. In this third production method, the plate member 200 is once laminated on the actuator substrate 18 formed with the pixel structure 102 and the crosspiece 70 to obtain a substantially identical surface for the respective upper surfaces of the pixel structure 102 and the crosspiece 70. After that, the plate member 200 is removed, and the optical waveguide plate 12 is laminated.

[0246] At first, as shown in FIG. 33A, the crosspiece 70 is formed, for example, by means of the film formation method at the portion formed with no actuator element 14, of the first principal surface of the actuator substrate 18.

[0247] After that, as shown in FIG. 33B, the pixel structure 102 is formed, for example, by means of the film formation method on each of the actuator elements 14 of the actuator substrate 18.

[0248] Subsequently, as shown in FIG. 33C, before the crosspiece 70 and the pixel structure 102 on the actuator substrate 18 are hardened, the plate member 200 is pressed against the crosspiece 70 and the pixel structure 102 on the actuator substrate 18. The plate member 200 and the actuator substrate 18 are pressurized in the directions to make approach to one another. After that, the crosspiece 70 and the pixel structure 102 are hardened in this state.

[0249] Those usable as the plate member 200 include, for example, glass, ceramics, and metal. Among them, glass is used especially preferably, because it is easy to obtain a plate member having high surface smoothness and appropriate rigidity.

[0250] The surface smoothness of the plate member is useful to improve the brightness of the pixel. Accordingly, those in which $R_a < 0.1 \mu\text{m}$ is given are preferably used. Especially, those in which $R_a < 0.01 \mu\text{m}$ is given are more preferably used.

[0251] The rigidity of the plate member is designed such that the pressurizing step causes no plastic deformation, and the elastic deformation effects adaptation to any warpage of the actuator substrate. For example, when glass is used for the plate member, and the vacuum packaging method is applied as the pressurizing method, then the thickness of the plate member is preferably about 0.5-fold to 10-fold as compared with the thickness of the actuator substrate. Especially preferably, the thickness of the plate

member is 1-fold to 5-fold.

[0252] On the other hand, when the low pressure press method is used as the pressurizing method, it is preferable that the plate member is thick in the view of the rigidity and the easiness of handling, because the small amount of deformation of the plate member is preferred.

[0253] As described above, those usable as the pressurizing method for the plate member 200 and the actuator substrate 18 include the various loading methods such as the loading based on the weight, the vacuum packaging method, the CIP method (hydrostatic pressure loading method), the loading based on the flip chip bonding, the constant value control, and the low pressure press method.

[0254] When the plate member 200 is laminated on the actuator substrate 18 followed by the pressurizing process, the crosspiece 70, which has been formed on the actuator substrate 18, serves as a spacer to define the distance between the actuator substrate 18 and the plate member 200. The crosspiece 70 and the pixel structure 102 are hardened after the pressurizing or in the pressurized state. Therefore, the defined distance corresponds to the distance between the actuator substrate 18 and the optical waveguide plate 12.

[0255] In this embodiment, a material, with which the pixel structure 102 is contracted during the hardening of the pixel structure 102, is used as the constitutive material for the pixel structure 102. By doing so, it is possible to form a constant gap "g" between the pixel structure 102 and the plate member 200 during the hardening for the crosspiece 70 and the pixel structure 102. This fact is equivalent to the fact that the constant gap "g" is formed between the pixel structure 102 and the optical waveguide plate 12.

[0256] When the material, with which the pixel structure 102 is contracted during the hardening of the pixel structure 102, is not used, the gap "g" maybe formed as follows between the pixel structure 102 and the plate member 200 during the hardening of the crosspiece 70 and the pixel structure 102. That is, for example, when the plate member 200 is laminated and pressurized, then the pixel structure 102 may be heated and expanded, or the actuator element 14 may be displaced to allow the pixel structure 102 to make contact with the plate member 200. The constant gap "g" is formed between the pixel structure 102 and the plate member 200 owing to the contraction of the pixel structure 102 or the displacement reset (restoration) of the actuator element 14, during the hardening of the crosspiece 70 and the pixel structure 102 effected thereafter.

[0257] Alternatively, when the pixel structure 102 contacts with the optical waveguide plate 12 in the natural state, for example, as shown in FIG. 7, application may be made for the arrangement in which the pixel structure 102 makes displacement in the direction to make separation from the optical waveguide plate 12, concerning the displacement action of the actuator element 14.

[0258] When a smooth plate member is used as the plate member 200, a smooth surface, which is equivalent to the surface of the plate member 200, is formed on the surface of the pixel structure 102. The excellent smoothness is useful to improve the brightness upon light emission effected by the pixel.

[0259] As shown in FIG. 34, when a plate member, which has a plurality of projections 202 at the corresponding portions with respect to the pixel structure 102, is used as the plate member 200, recesses 110, which correspond to the projections 202, are formed on the surface of the pixel structure 102 during the pressurizing process for the plate member 200 and the actuator substrate 18. Thus, it is possible to produce the display device Dc according to the third embodiment shown in FIG. 21.

[0260] As shown in FIG. 35, when a plate member, which has a projection 204 at each of the portions corresponding to the circumferential edge of the pixel structure 102, is used as the plate member 200, the step 112, which corresponds to the projection 204, is formed at the circumferential edge of the pixel structure 102 during the pressurizing process for the plate member 200 and the actuator substrate 18. Thus, it is possible to produce the display device Dd according to the fourth embodiment shown in FIG. 22.

[0261] As shown in FIG. 36, when a plate member, which has a convex configuration 206 at each of the portions corresponding to the pixel structure 102, is used as the plate member 200, the concave configuration 114, which corresponds to the convex configuration 206, is formed on the surface of the pixel structure 102 during the pressurizing process for the plate member 200 and the actuator substrate 18. Thus, it is possible to produce the display device De according to the fifth embodiment shown in FIG. 23.

[0262] As shown in FIG. 37, a plate member, which has a plurality of projections 208 at the portions corresponding to the crosspieces 70 respectively, is used as the plate member 200, the upper end of the pixel structure 102 is formed to be higher than the upper end of the crosspiece 70 during the pressurizing process for the plate member 200 and the actuator substrate 18. In this arrangement, the contact of the pixel structure 102 with respect to the optical waveguide plate 12 is made in a more complete manner, for

example, in the display device Da shown in FIG. 7 which exhibits the ON state in the natural state. It is a matter of course that this arrangement is also preferably applicable to those having no gap-forming layer 50 concerning the display device Da shown in FIG. 7.

[0263] Another effect is also obtained. That is, it is possible to form a thick gap-forming layer 50. Therefore, when the gap-forming layer 50 functions as a light-absorbing layer, this arrangement is effective to improve the image quality such as the contrast. Further, it is possible to widen the range of material selection for the gap-forming layer 50. Of course, this arrangement is also applicable to the display device of the type in which the pixel structure 102 is separated from the optical waveguide plate 12 in the natural state.

[0264] On the other hand, when a plate member, which has a plurality of recesses at the portions corresponding to the crosspieces 70 respectively, is utilized as the plate member 200, the upper end of the pixel structure 102 is formed to be lower than the upper end of the crosspiece 70 during the pressurizing process for the plate member 200 and the actuator substrate 18. In this arrangement, a precise gap "g" can be formed even in the case of the form in which the gap-forming layer 50 is not provided.

[0265] The projections 202 of the plate member 200 or the like shown in FIGS. 34 to 37 is equivalently applicable to the fourth production method and the followings as described later on.

[0266] After that, as shown in FIG. 38A, the plate member 200 is removed, and then an adhesive 210 is applied to the upper surface of the crosspiece 70 on the actuator substrate 18, for example, by means of the film formation method.

[0267] It is preferable to use an adhesive having high light-absorbing performance, because it is necessary to suppress the light scattering. For example, it is desirable to use an adhesive added with carbon black, black pigment, or black dye.

[0268] As shown in FIG. 38B, before the adhesive 210 is hardened, the optical waveguide plate 12 is pressed against the crosspiece 70 on the actuator substrate 18. The optical waveguide plate 12 and the actuator substrate 18 are pressurized in the directions to make approach to one another. Subsequently, the adhesive 210 is hardened in this state to complete the device.

[0269] As described above, those preferably usable as the pressurizing method for the optical waveguide plate 12 and the actuator substrate 18 include the various loading methods such as the loading based on the weight, the vacuum packaging method, the CIP method (hydrostatic pressure loading method), the loading based on the flip chip bonding, the constant value control, and the low pressure press method.

[0270] As described above, it is preferable to use the plate member 200 having the projection 202, 204, 206 on the surface, concerning the method for forming the recess 110 or the step 112 on the surface of the pixel structure 102, or for forming the concave configuration 114 on the surface of the pixel structure 102. For this purpose, it is preferable to use the method in which the metal film or the resist film is formed in accordance with the ordinary thin film formation method on the plate member 200 composed of glass. This method is advantageous in that the pattern and the height of the projection 202, 204, 206 can be freely changed. It is preferable that the height of the projection 202, 204, 206 is about 0.1 to 2 μm .

[0271] Concerning the above, another method, which is based on the plane polishing for the surface of the pixel structure 102 or the surface processing based on the laser, can be also used as the method for forming the recess 110 or the step 112 on the surface of the pixel structure 102. The laser processing is not limited to the formation of the recess 110 and the step 112, but it also has an effect of surface improvement by the aid of the heating. Further, it is possible to arbitrarily design the processing pattern. Therefore, the laser processing is used especially preferably.

[0272] On the other hand, the method for forming the concave configuration 114 on the surface of the pixel structure 102 is not limited to the methods described above. Besides, there are a method of heating, and a method of previously applying a voltage to the actuator element 14 during the hardening process for the pixel structure 102. There are a method in which the heating is performed during the figuring hardening with the plate member 200, and a method in which the heating is performed after the removal of the plate member 200. These methods can be selected depending on the material quality of the pixel structure 102. A heating temperature of 15 DEG C to 150 DEG C is used. Especially, a heating temperature of 20 DEG C to 80 DEG C is preferably used.

[0273] Next, the fourth production method will be explained with reference to FIGS. 39A to 39D. In the fourth production method, the pixel structure 102 and the crosspiece 70 are formed on the plate member 200, and they are hardened respectively. After that, the actuator substrate 18 is laminated. Subsequently, the plate member 200 is removed, and the optical waveguide plate 12 is laminated.

[0274] At first, as shown in FIG. 39A, the crosspiece 70 is formed, for example, by means of the film

formation method at the portions other than the portions corresponding to the large number of pixels, of the plate member 200, and then the crosspiece 70 is hardened. Subsequently, as shown in FIG. 39B, the pixel structure 102 is formed, for example, by means of the film formation method at the portions corresponding to the large number of pixels, of the plate member 200, and then the pixel structure 102 is hardened.

[0275] After that, as shown in FIG. 39C, an adhesive 212 is applied to the upper surface of the actuator element 14 and the position corresponding to the crosspiece 70, of the first principal surface of the actuator substrate 18 previously formed with the actuator elements 14 at the corresponding portions.

[0276] After that, before the adhesive 212 is hardened, the first principal surface side of the actuator substrate 18 is pressed against the crosspiece 70 and the pixel structure 102 on the plate member 200. The plate member 200 and the actuator substrate 18 are pressurized in the directions to make approach to one another. Subsequently, the adhesive 212 is hardened in this state.

[0277] After that, as shown in FIG. 39D, the plate member 200 is removed. At this point of time, the crosspiece 70 and the pixel structure 102, which have been formed on the plate member 200 are transferred to the actuator substrate 18. Therefore, as shown in FIG. 39A, for example, it is preferable that a releasing agent is applied to the plate member 200 before the crosspiece 70 and the pixel structure 102 are formed on the plate member 200, because of the following reason. That is, the pixel structure 102 and the crosspiece 70 can be smoothly transferred to the actuator substrate 18.

[0278] After that, as shown in FIG. 38A, the adhesive 210 is applied, for example, by means of the film formation method on the upper surface of the crosspiece 70 on the actuator substrate 18.

[0279] As shown in FIG. 38B, before the adhesive 210 is hardened, the optical waveguide plate 12 is pressed against the crosspiece 70 on the actuator substrate 18. The optical waveguide plate 12 and the actuator substrate 18 are pressurized to make approach to one another. After that, the adhesive 210 is hardened in this state to complete the device.

[0280] The embodiment shown in FIGS. 38A and 38B is illustrative of the case in which the optical waveguide plate 12 is directly laminated on the upper surface of the crosspiece 70. Alternatively, it is also possible to adopt a method shown in FIGS. 40A and 40B.

[0281] That is, as shown in FIG. 40A, the adhesive 210 is applied, for example, by means of the film formation method to the upper surface of the crosspiece 70 on the actuator substrate 18.

[0282] As shown in FIG. 40B, the gap-forming layer 50 is previously formed, for example, by means of the film formation method at the portions corresponding to the crosspiece, of the optical waveguide plate 12. Before the adhesive 210 is hardened, the optical waveguide plate 12 is pressed against the crosspiece 70 on the actuator substrate 18 (the gap-forming layer 50 is pressed against the crosspiece 70). The optical waveguide plate 12 and the actuator substrate 18 are pressurized in the directions to make approach to one another. After that, the adhesive 210 is hardened in this state to complete the device.

[0283] As shown in FIGS. 40A and 40B, when the gap-forming layer 50 is provided, it is easier to obtain the uniform gap "g" for all of the pixels between the pixel structure 102 and the optical waveguide plate 12. It is also possible to easily control the size of the gap "g".

[0284] Next, the fifth production method will be explained with reference to FIGS. 41A to 41C. In the fifth production method, the pixel structure 102 is formed on the optical waveguide plate 12, and the crosspiece 70 is formed on the actuator substrate 18. After that, the optical waveguide plate 12 and the actuator substrate 18 are laminated and pressurized.

[0285] At first, as shown in FIG. 41A, the pixel structures 102 are formed, for example, by means of the film formation method at the portions corresponding to the large number of pixels, of the optical waveguide plate 12. Subsequently, as shown in FIG. 41B, the crosspiece 70 is formed, for example, by means of the film formation method at the portions formed with no actuator element 14, of the first principal surface of the actuator substrate 18. After that, an adhesive 210 is applied, for example, by means of the film formation method to the upper surface of the crosspiece 70 on the actuator substrate 18.

[0286] As shown in FIG. 41C, before the adhesive 210 is hardened, the surface of the actuator substrate 18 formed with the crosspiece 70 and the surface of the optical waveguide plate 12 formed with the pixel structure 102 are laminated with each other. The optical waveguide plate 12 and the actuator substrate 18 are pressurized in the directions to make approach to one another. After that, the adhesive 210 is hardened in this state to complete the device.

[0287] According to the fifth production method, the formation of the pixel structure 102 and the formation of the crosspiece 70 can be carried out in the mutually independent steps. Therefore, the range of material selection is widened concerning the pixel structure 102 and the crosspiece 70, and it is possible to reduce

the production cost and the number of production steps. Further, the pixel structure 102 is formed on the optical waveguide plate 12 which has high flatness. Therefore, it is possible to obtain a uniform size of the pixel structure 102.

[0288] Next, the sixth production method will be explained with reference to FIGS. 42A to 42C. In the sixth production method, the crosspiece 70 is formed on the optical waveguide plate 12, and the pixel structure 102 is formed on the actuator substrate 18. After that, the optical waveguide plate 12 and the actuator substrate 18 are laminated and pressurized.

[0289] At first, as shown in FIG. 42A, the plurality of crosspieces 70 are formed, for example, by means of the film formation method at the portions other than the portions corresponding to the large number of pixels, of the optical waveguide plate 12. Subsequently, as shown in FIG. 42B, the pixel structures 102 are formed, for example, by means of the film formation method on the actuator elements 14 of the first principal surface of the actuator substrate 18. After that, an adhesive 212 is applied, for example, by means of the film formation method to the upper surfaces of the crosspieces 70 on the optical waveguide plate 12. Alternatively, the adhesive 212 is formed, for example, by means of the film formation method on the portions formed with no actuator element 14, of the first principal surface of the actuator substrate 18.

[0290] After that, as shown in FIG. 42C, before the adhesive 212 is hardened, the surface of the actuator substrate 18 formed with the pixel structure 102 and the surface of the optical waveguide plate 12 formed with the crosspiece 70 are laminated with each other. The optical waveguide plate 12 and the actuator substrate 18 are pressurized in the directions to make approach to one another. After that, the adhesive 210 is hardened in this state to complete the device.

[0291] Also in the sixth production method, the formation of the pixel structure 102 and the formation of the crosspiece 70 can be carried out in the mutually independent steps. Therefore, the range of material selection is widened concerning the pixel structure 102 and the crosspiece 70, and it is possible to reduce the production cost and the number of production steps. Further, the crosspiece 70 is formed on the optical waveguide plate 12 which has high flatness. Therefore, it is possible to obtain a strictly uniform size of the crosspiece 70. Furthermore, no obstacle (for example, the crosspiece 70) exists when the pixel structure 102 is formed. Therefore, the pixel structure 102 can be formed accurately.

[0292] Next, the seventh production method will be explained with reference to FIGS. 43A and 43B. In the seventh production method, the pixel structure 102 is formed on the actuator substrate 18 which has been previously provided with the crosspiece 70 in the integrated manner. After that, the optical waveguide plate 12 is laminated and pressurized.

[0293] At first, as shown in FIG. 43A, the pixel structures 102 are formed on the respective actuator elements 14 of the actuator substrate 18 which integrally includes the plurality of crosspieces 70 at the portions other than the actuator elements 14. Subsequently, an adhesive 210 is formed, for example, by means of the film formation method on the upper surfaces of the crosspieces 70 on the actuator substrate 18.

[0294] As shown in FIG. 43B, before the crosspieces 70 and the pixel structures 102 on the actuator substrate 18 are hardened, the optical waveguide plate 12 is pressed against the crosspieces 70 and the pixel structures 102 on the actuator substrate 18. The optical waveguide plate 12 and the actuator substrate 18 are pressurized in the directions to make approach to one another. After that, the crosspieces 70 and the pixel structures 102 are hardened in this state to complete the device.

[0295] In the seventh production method, the actuator substrate 18, which previously has the crosspieces 70 in the integrated manner, is used as the actuator substrate 18. Therefore, the mechanical strength of the portion of the crosspiece 70 is high. Accordingly, the rigidity of the actuator substrate 18 is enhanced. As a result, for example, when the actuator substrate 18 is carried or stored, the crosspiece 70 can be used to protect the actuator element 14, especially the vibrating section 22 formed on the actuator substrate 18. The step of hardening the crosspiece 70 can be omitted, as compared with the case in which the crosspiece 70 is formed separately. Thus, it is possible to reduce the number production steps.

[0296] Next, the eighth production method will be explained with reference to FIGS. 44A to 45B. In the eighth production method, the crosspiece 70 is formed on the actuator substrate 18, and the pixel structure 102 is formed on the plate member 200. The actuator substrate 18 and the plate member 200 are laminated and pressurized. After that, the plate member 200 is removed, and the optical waveguide plate 12 is laminated and pressurized.

[0297] At first, as shown in FIG. 44A, the pixel structures 102 are formed at the portions corresponding to the large number of pixels, of the plate member 200. Subsequently, as shown in FIG. 44B, the plurality of crosspieces 70 are formed at the portions other than the actuator elements 14, of the actuator substrate 18.

[0298] Subsequently, as shown in FIG. 44C, before the crosspieces 70 and the pixel structures 102 on the

actuator substrate 18 are hardened, the surface of the actuator substrate 18 formed with the crosspieces 70 and the surface of the plate member 200 formed with the pixel structures 102 are laminated with each other. The plate member 200 and the actuator substrate 18 are pressurized in the directions to make approach to one another. After that, the crosspieces 70 and the pixel structures 102 are hardened in this state.

[0299] After that, as shown in FIG. 45A, the plate member 200 is removed, and the pixel structures 102 are transferred to the actuator substrate 18. Subsequently, an adhesive 210 is applied, for example, by means of the film formation method to the upper surfaces of the crosspieces 70 on the actuator substrate 18.

[0300] As shown in FIG. 45B, before the adhesive 210 is hardened, the optical waveguide plate 12 is pressed against the crosspieces 70 on the actuator substrate 18. The optical waveguide plate 12 and the actuator substrate 18 are pressurized in the directions to make approach to one another. After that, the adhesive 210 is hardened in this state to complete the device.

[0301] In this embodiment, the formation of the pixel structure 102 and the formation of the crosspiece 70 can be carried out in the mutually independent steps. Therefore, the range of material selection is widened concerning the pixel structure 102 and the crosspiece 70, and it is possible to reduce the production cost and the number of production steps. Further, the pixel structure 102 is formed on the plate member 200 which has high flatness. Therefore, it is possible to obtain a uniform size of the pixel structure 102.

[0302] Next, the ninth production method will be explained with reference to FIGS. 46A to 47B. In the ninth production method, the pixel structure 102 is formed on the actuator substrate 18, and the crosspiece 70 is formed on the plate member 20. The actuator substrate 18 and the plate member 200 are laminated and pressurized. After that, the plate member 200 is removed, and the optical waveguide plate 12 is laminated and pressurized.

[0303] At first, as shown in FIG. 46A, the crosspieces 70 are formed at the portions other than the portions corresponding to the large number of pixels, of the plate member 200. Subsequently, as shown in FIG. 46B, the pixel structures 102 are formed on the respective actuator elements 14 of the actuator substrate 18. After that, an adhesive 212 is formed, for example, by means of the film formation method on the lower surfaces of the crosspieces 70 formed on the plate member 200. The adhesive 212 may be applied to the portions other than the actuator elements 14 of the actuator substrate 18, not to the upper surfaces of the crosspieces 70.

[0304] Subsequently, as shown in FIG. 46C, before the pixel structures 102 on the actuator substrate 18 are hardened, the surface of the actuator substrate 18 formed with the pixel structures 102 and the surface of the plate member 200 formed with the crosspieces 70 are laminated with each other. The plate member 200 and the actuator substrate 18 are pressurized in the directions to make approach to one another. After that, the pixel structures 102 are hardened in this state.

[0305] After that, as shown in FIG. 47A, the plate member 200 is removed, and the crosspieces 70 are transferred to the actuator substrate 18. Subsequently, an adhesive 210 is applied, for example, by means of the film formation method to the upper surfaces of the crosspieces 70 on the actuator substrate 18.

[0306] As shown in FIG. 47B, before the adhesive 210 is hardened, the optical waveguide plate 12 is pressed against the crosspieces 70 on the actuator substrate 18. The optical waveguide plate 12 and the actuator substrate 18 are pressurized in the directions to make approach to one another. After that, the adhesive 210 is hardened in this state to complete the device.

[0307] Also in this embodiment, the formation of the pixel structure 102 and the formation of the crosspiece 70 can be carried out in the mutually independent steps. Therefore, the range of material selection is widened concerning the pixel structure 102 and the crosspiece 70, and it is possible to reduce the production cost and the number of production steps. Further, the crosspiece 70 is formed on the plate member 200 which has high flatness. Therefore, it is possible to obtain a strictly uniform size of the crosspiece 70. Furthermore, no obstacle (for example, the crosspiece 70) exists when the pixel structure 102 is formed. Therefore, the pixel structure 102 can be formed accurately.

[0308] Especially, the ninth production method is preferably used to form the crosspiece 70 having the stripe-shaped opening 220 as shown in FIG. 13, and the line-shaped crosspiece 70 as shown in FIG. 14. That is, the film is punched and processed to form the stripe-shaped opening 220, or the film is finely cut into the line-shaped configuration.

[0309] Subsequently, as shown in FIG. 48, the crosspiece 70 composed of the film is laminated on the plate member 200 by utilizing the surface tension of the liquid (for example, water). After that, the process leads to the step shown in FIG. 46A. In this case, the crosspiece 70 is merely affixed to the plate member 200 by the aid of only the surface tension of the liquid. Therefore, it is easy to remove the plate member 200 thereafter.

[0310] Next, the tenth production method will be explained with reference to FIGS. 49A to 50B. In the tenth production method, the pixel structure 102 is formed on the actuator substrate 18. After that, the actuator substrate 18 is laminated with the jig 234 including the large number of size-defining members 232 provided on the plate member 230, and they are pressurized. Thus, the size of the pixel structure 102 is defined. Subsequently, the jig 234 is removed, and the crosspiece 70 is formed on the actuator substrate 18. After that, the optical waveguide plate 12 is laminated and pressurized.

[0311] At first, as shown in FIG. 49A, the pixel structures 102 are formed on the respective actuator elements 14 of the actuator substrate 18.

[0312] After that, as shown in FIG. 49B, the jig 234 is prepared, which includes, on one surface of the plate member 230, the large number of size-defining members 232 having approximately the same height as that of the crosspieces 70 to be formed on the actuator substrate 18. The surface of the jig 234 formed with the size-defining members 232 and the surface of the actuator substrate 18 formed with the pixel structures 102 are laminated with each other. The jig 234 and the actuator substrate 18 are pressurized in the directions to make approach to one another. After that, the pixel structures 102 are hardened in this state.

[0313] Subsequently, as shown in FIG. 49C, the jig 234 is removed. After that, as shown in FIG. 50A, the plurality of crosspieces 70 are formed at the portions other than the actuator elements 14, of the actuator substrate 18. Subsequently, an adhesive 210 is applied, for example, by means of the film formation method to the upper surfaces of the crosspieces 70 on the actuator substrate 18.

[0314] As shown in FIG. 50B, before the adhesive 210 is hardened, the optical waveguide plate 12 is pressed against the crosspieces 70 on the actuator substrate 18. The optical waveguide plate 12 and the actuator substrate 18 are pressurized in the directions to make approach to one another. Subsequently, the adhesive 210 is hardened in this state to complete the device.

[0315] In the tenth production method, for example, when the jig 234 is formed by using a member having rigidity such as metal, it is possible to reduce the waviness of the actuator substrate 18 formed with the pixel structures 102, by laminating and pressurizing the jig 234 and the actuator substrate 18. It is possible to form the crosspiece 70 highly accurately in the step of forming the crosspiece 70 performed thereafter.

[0316] Next, the eleventh production method will be explained with reference to FIGS. 51A to 52B. In the eleventh production method, the pixel structures 102 are formed on the actuator substrate 18, and then the actuator substrate 18 and the jig 234 including, on the plate member 230, the large number of size-defining members 232 are laminated and pressurized with each other. Thus, the size of the pixel structure 102 is defined. After the jig 234 is removed, the crosspieces 70 are formed on the optical waveguide plate 12. The optical waveguide plate 12 and the actuator substrate 18 are laminated with each other.

[0317] At first, as shown in FIG. 51A, the pixel structures 102 are formed on the respective actuator elements 14 of the actuator substrate 18.

[0318] After that, as shown in FIG. 51B, the jig 234 is prepared, which includes the large number of size-defining members 232 having approximately the same height as that of the crosspieces 70 to be formed on the actuator substrate 18, the size-defining members 232 being formed on one surface of the plate member 230. The surface of the jig 234 formed with the size-defining members 232 and the surface of the actuator substrate 18 formed with the pixel structures 102 are laminated with each other. The jig 234 and the actuator substrate 18 are pressurized in the directions to make approach to one another. After that, the pixel structures 102 are hardened in this state.

[0319] Subsequently, as shown in FIG. 51C, the jig 234 is removed, and then the crosspieces 70 are formed at the portions other than the portions corresponding to the large number of pixels, of the optical waveguide plate 12 as shown in FIG. 52A. After that, an adhesive 212 is applied, for example, by means of the film formation method to the lower surfaces of the crosspieces 70 on the plate member 70.

[0320] As shown in FIG. 52B, before the adhesive 212 is hardened, the surface of the actuator substrate 18 formed with the pixel structures 102 and the surface of the optical waveguide plate 12 formed with the crosspieces 70 are laminated with each other. The optical waveguide plate 12 and the actuator substrate 18 are pressurized in the directions to make approach to one another. After that, the adhesive 212 is hardened in this state to complete the device.

[0321] Also in the eleventh production method, for example, when the jig 234 is formed by using a member having rigidity such as metal, it is possible to reduce the waviness of the actuator substrate 18 formed with the pixel structures 102, by laminating and pressurizing the jig 234 and the actuator substrate 18. It is possible to carry out the lamination with the optical waveguide plate 12 highly accurately performed thereafter.

[0322] The gap-forming layer 50 may be provided on the optical waveguide plate 12. In this arrangement, the gap amount can be easily adjusted by controlling the difference between the height of the crosspiece 70 and the height of the size-defining member 232.

[0323] Next, the twelfth production method will be explained with reference to FIGS. 53A to 54B. In the twelfth production method, the pixel structure 102 is formed on the actuator substrate 18, and the crosspiece 70 is formed on the jig 234 including, on the plate member 230, the large number of size-defining members 232. The actuator substrate 18 and the jig 234 are laminated and pressurized so that the size of the crosspiece 70 and the pixel structure 102 is defined. After that, the jig 234 is removed. The crosspiece 70 is transferred to the actuator substrate 18, and then the optical waveguide plate 12 is laminated.

[0324] At first, as shown in FIG. 53A, the plurality of crosspieces 70 are formed at the portions formed with no size-defining member 232, of the surface of the jig 324 formed with the size-defining members 232, the portions being other than the portions corresponding to the large number of pixels. After that, an adhesive 212 is applied, for example, by means of the film formation method to the lower surfaces of the crosspieces 70 formed on the jig 234.

[0325] The pixel structures 102 are formed on the respective actuator elements 14 of the actuator substrate 18.

[0326] Subsequently, as shown in FIG. 53B, before the pixel structures 102 on the actuator substrate 18 are hardened, the surface of the actuator substrate 18 formed with the pixel structures 102 and the surface of the jig 234 formed with the crosspieces are laminated with each other. The jig 234 and the actuator substrate 18 are pressurized in the directions to make approach to one another, and then the pixel structures 102 are hardened in this state.

[0327] After that, as shown in FIG. 53C, the jig 234 is removed, and the crosspieces 70 are transferred to the actuator substrate. Subsequently, as shown in FIG. 54A, the adhesive 210 is applied, for example, by means of the film formation method to the upper surfaces of the crosspieces 70 on the actuator substrate 18.

[0328] As shown in FIG. 54B, before the adhesive 210 is hardened, the optical waveguide plate 12 is pressed against the crosspieces 70 on the actuator substrate 18. The optical waveguide plate 12 and the actuator substrate 18 are pressurized in the directions to make approach to one another. After that, the adhesive 210 is hardened in this state to complete the device.

[0329] Also in this embodiment, for example, when the jig 234 is formed by using a member having rigidity such as metal, it is possible to reduce the waviness of the actuator substrate 18 formed with the pixel structures 102, by laminating and pressurizing the jig 234 and the actuator substrate 18. It is possible to form the crosspiece 70 and the pixel structure 102 highly accurately.

[0330] Next, the thirteenth production method will be explained with reference to FIGS. 55A to 56B. In the thirteenth embodiment, the pixel structure 102 and the crosspiece 70 are formed on the actuator substrate 18. The actuator substrate 18 and the jig 234 provided with the large number of size-defining members 232 on the plate member 230 are laminated and pressurized. Thus, the size of the crosspiece 70 and the pixel structure 102 is defined. After that, the jig 234 is removed, and the optical waveguide plate 12 is laminated.

[0331] At first, as shown in FIG. 55A, the crosspieces 70 are formed, for example, by means of the film formation method at the portions formed with no actuator element 14, of the first principal surface of the actuator substrate 18. The pixel structures 102 are formed, for example, by means of the film formation method on the respective actuator elements 14 of the actuator substrate 18.

[0332] After that, as shown in FIG. 55B, before the crosspieces 70 and the pixel structures 102 on the actuator substrate 18 are hardened, the jig 234 is pressed against the crosspieces 70 and the pixel structures 102 on the actuator substrate 18. The jig and the actuator substrate 18 are pressurized in the directions to make approach to one another. After that, the crosspieces 70 and the pixel structures 102 are hardened in this state.

[0333] Subsequently, as shown in FIG. 55C, the jig 234 is removed. After that, as shown in FIG. 56A, an adhesive 210 is applied, for example, by means of the film formation method to the upper surfaces of the crosspieces 70 on the actuator substrate 18.

[0334] As shown in FIG. 56B, before the adhesive 210 is hardened, the optical waveguide plate 12 is pressed against the crosspieces 70 on the actuator substrate 18. The optical waveguide plate 12 and the actuator substrate 18 are pressurized in the directions to make approach to one another. After that, the adhesive 210 is hardened in this state to complete the device.

[0335] Also in this embodiment, for example, when the jig 234 is formed by using a member having rigidity such as metal, it is possible to reduce the waviness of the actuator substrate 18 formed with the pixel structures 102 and the crosspieces 70, by laminating and pressurizing the jig 234 and the actuator substrate 18. It is possible to form the crosspiece 70 and the pixel structure 102 highly accurately.

[0336] Next, the fourteenth production method will be explained with reference to FIGS. 57A to 58B. In the fourteenth production method, the crosspieces 70 are formed on the actuator substrate 18. The pixel structures 102 are formed on the jig including, on the plate member 230, the large number of size-defining members 232. The actuator substrate 18 and the jig 234 are laminated and pressurized. Thus, the size of the crosspiece 70 and the pixel structure 102 is defined. After that, the jig 234 is removed, and the pixel structures 102 are transferred to the actuator substrate 18. Subsequently, the optical waveguide plate 12 is laminated.

[0337] At first, as shown in FIG. 57A, the pixel structures 102 are formed at the portions corresponding to the large number of pixels, the portions being formed with no size-defining member 232, of the surface of the jig 234 formed with the size-defining members 232. The plurality of crosspieces 70 are formed at the portions other than the actuator elements 14 of the actuator substrate 18.

[0338] After that, as shown in FIG. 57B, before the crosspieces 70 formed on the actuator substrate 18 and the pixel structures 102 formed on the jig 234 are hardened, the surface of the jig 234 formed with the pixel structures 102 and the surface of the actuator substrate 18 formed with the crosspieces 70 are laminated with each other. The jig 234 and the actuator substrate 18 are pressurized in the directions to make approach to one another. Subsequently, the crosspieces 70 and the pixel structures 102 are hardened in this state.

[0339] After that, as shown in FIG. 57C, the jig 234 is removed, and the pixel structures 102 are transferred to the actuator substrate 18. Subsequently, as shown in FIG. 58A, an adhesive 210 is applied, for example, by means of the film formation method to the upper surfaces of the crosspieces 70 on the actuator substrate 18.

[0340] As shown in FIG. 58B, before the adhesive 210 is hardened, the optical waveguide plate 12 is pressed against the crosspieces 70 on the actuator substrate 18. The optical waveguide plate 12 and the actuator substrate 18 are pressurized in the directions to make approach to one another. After that, the adhesive 210 is hardened in this state to complete the device.

[0341] Also in this embodiment, for example, when the jig 234 is formed by using a member having rigidity such as metal, it is possible to reduce the waviness of the actuator substrate 18 formed with the pixel structures 102, by laminating and pressurizing the jig 234 and the actuator substrate 18. It is possible to form the crosspiece 70 and the pixel structure 102 highly accurately.

[0342] Next, the fifteenth production method will be explained with reference to FIGS. 59A to 60B. In the fifteenth production method, the crosspieces 70 and the pixel structures 102 are formed on the jig 234 including, on the plate member 230, the large number of size-defining members 232. The jig 234 and the actuator substrate 18 are laminated and pressurized with each other. Thus, the size of the crosspiece 70 and the pixel structure 102 is defined. After that, the jig 234 is removed, and the crosspieces 70 and the pixel structures 102 are transferred to the actuator substrate 18. Subsequently, the optical waveguide plate 12 is laminated.

[0343] At first, as shown in FIG. 59A, the plurality of crosspieces 70 are formed at the portions formed with no size-defining member 232, of the surface of the jig 234 formed with the size-defining members 232, the portions being other than the portions corresponding to the large number of pixels. The pixel structures 102 are formed at the portions formed with no size-defining member 232, of the surface of the jig 234 formed with the size-defining members 232, the portions corresponding to the large number of pixels.

[0344] After that, as shown in FIG. 59B, before the crosspieces 70 and the pixel structures 102 formed on the jig 234 are hardened, the jig 234 and the actuator substrate 18 are laminated with each other. The jig 234 and the actuator substrate 18 are pressurized in the directions to make approach to one another. After that, the crosspieces 70 and the pixel structures 102 are hardened in this state.

[0345] Subsequently, as shown in FIG. 59C, the jig 234 is removed, and the crosspieces and the pixel structures 102 are transferred to the actuator substrate 18. After that, as shown in FIG. 60A, an adhesive 210 is applied, for example, by means of the film formation method to the upper surfaces of the actuator substrate 18.

[0346] As shown in FIG. 60B, before the adhesive 210 is hardened, the optical waveguide plate 12 is pressed against the crosspieces 70 on the actuator substrate 18. The optical waveguide plate 12 and the actuator substrate 18 are pressurized in the directions to make approach to one another. After that, the adhesive 210 is hardened in this state to complete the device.

[0347] Also in this embodiment, for example, when the jig 234 is formed by using a member having rigidity such as metal, it is possible to reduce the waviness of the actuator substrate 18 by laminating and pressurizing the jig 234 and the actuator substrate 18. It is possible to transfer and form the crosspiece 70 and the pixel structure 102 highly accurately on the actuator substrate 18.

[0348] Next, the sixteenth production method will be explained with reference to FIGS. 61A to 62B. In the sixteenth production method, the pixel structures 102 are formed on the actuator substrate 18 which includes the crosspieces 70 in the integrated manner. After that, the plate member 200 is laminated on the actuator substrate 18. Subsequently, the plate member 200 is removed, and the optical waveguide plate 12 is laminated.

[0349] At first, as shown in FIG. 61A, the pixel structures 102 are formed on the respective actuator elements 14 of the actuator substrate 18 which integrally includes the plurality of crosspieces 70 at the portions other than the actuator elements 14.

[0350] After that, as shown in FIG. 61B, before the pixel structures 102 on the actuator substrate 18 are hardened, the plate member 200 is pressed against the crosspieces 70 and the pixel structures 102 on the actuator substrate 18. The plate member 200 and the actuator substrate 18 are pressurized in the directions to make approach to one another. After that, the pixel structures 102 are hardened in this state.

[0351] Subsequently, as shown in FIG. 62A, after the plate member 200 is removed, an adhesive 210 is applied, for example, by means of the film formation method to the upper surfaces of the crosspieces 70 on the actuator substrate 18.

[0352] As shown in FIG. 62B, before the adhesive is hardened, the optical waveguide plate 12 is pressed against the crosspieces 70 on the actuator substrate 18. The optical waveguide plate 12 and the actuator substrate 18 are pressurized in the directions to make approach to one another. After that, the adhesive 210 is hardened in this state to complete the device.

[0353] In this embodiment, the actuator substrate 18, which previously has the crosspieces 70 in the integrated manner, is used as the actuator substrate 18. Therefore, for example, when the actuator substrate 18 is carried or stored, the crosspieces 70 can be used to protect the actuator elements 14 formed on the actuator substrate 18. Further, the step of hardening the crosspiece 70 can be omitted, as compared with the case in which the crosspiece 70 is separately formed. Accordingly, it is possible to reduce the number of production steps.

[0354] In the respective embodiments described above, it is also possible that the crosspiece 70 has the multiple layered structure. In this arrangement, the crosspiece 70 having the multiple layered structure can be formed by using the film formation method. In addition thereto, for example, the crosspiece having the multiple layered structure can be also formed in accordance with a method in which, for example, the ceramic sintering method and the film formation method are combined with each other. The crosspiece 70 having the multiple layered structure is advantageous to adjust the amount of gap.

[0355] Further, for example, when the adhesive is applied onto the crosspiece 70, for example, an adhesive having light-absorbing property is used. By doing so, the adhesive may be allowed to play the role of the gap-forming layer 50. When the adhesive is applied onto the pixel structure 102 or the actuator element 14, for example, an adhesive having light-reflective property is used. By doing so, the adhesive may be allowed to function as a part of the pixel structure 102.

[0356] It is a matter of course that the display device and the method for producing the same according to the present invention are not limited to the embodiments described above, which may be embodied in other various forms without deviating from the gist or essential characteristic of the present invention.

INDUSTRIAL APPLICABILITY

[0357] As explained above, according to the display device and the method for producing the same concerning the present invention, it is possible to obtain the following effects.

- (1) The clearance (gap) between the optical waveguide plate and the pixel structure can be easily formed, and it can be formed uniformly for all of the pixels.
- (2) The size of the gap can be easily controlled.
- (3) The adhesion of the pixel structure to the optical waveguide plate can be avoided, and it is possible to effectively realize the high response speed.
- (4) The contact surface of the pixel structure (contact surface with respect to the optical waveguide plate) can be formed to be smooth so that the light is efficiently introduced into the pixel structure when the predetermined pixel structure contacts with the optical waveguide plate.
- (5) It is possible to ensure the response speed of the pixel.

(6) It is possible to obtain the uniform brightness for all of the pixels.

(7) It is possible to improve the brightness of the pixel.

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

DISPLAY AND ITS MANUFACTURING METHODClaims of correspondent: **EP0967507**

1. A display device comprising:

an optical waveguide plate for introducing light thereinto;
an actuator substrate provided opposingly to one plate surface of said optical waveguide plate and arranged with actuator elements of a number corresponding to a large number of pixels;
a pixel structure formed on each of said actuator elements of said actuator substrate; and
a crosspiece formed at a portion other than said pixel structure between said optical waveguide plate and said actuator substrate.

2. The display device according to claim 1, wherein said actuator element includes a shape-retaining layer, an operating section having at least a pair of electrodes formed on said shape-retaining layer, a vibrating section for supporting said operating section, and a fixed section for supporting said vibrating section in a vibrating manner.

3. The display device according to claim 1 or 2, wherein said crosspiece is secured to said optical waveguide plate.

4. The display device according to claim 1 or 2, wherein a gap-forming layer is provided between said optical waveguide plate and said crosspiece.

5. The display device according to any one of claims 1 to 4, wherein said crosspiece is formed at portions around four corners of each of said pixel structure.

6. The display device according to any one of claims 1 to 5, wherein said crosspiece has a window for surrounding at least one pixel structure.

7. The display device according to any one of claims 1 to 5, wherein said crosspiece includes a stripe-shaped opening which extends along a direction of an array of said pixel structures and which surrounds said array of said pixel structures.

8. The display device according to any one of claims 1 to 5, wherein said crosspiece is formed to have a line-shaped configuration which extends along a direction of an array of said pixel structures.

9. The display device according to any one of claims 1 to 8, wherein said crosspiece is formed integrally with said actuator substrate.

10. The display device according to any one of claims 1 to 8, wherein said crosspiece is constructed by a wire member which extends along a direction of an array of said pixel structures.

11. The display device according to any one of claims 1 to 10, wherein a recess is formed on a surface of said pixel structure.

12. The display device according to any one of claims 1 to 11, wherein a step is formed on a surface of said pixel structure.

13. The display device according to any one of claims 1 to 12, wherein a surface of said pixel structure has a concave configuration.

14. A method for producing a display device, comprising:

a crosspiece-forming step of forming a plurality of crosspieces at portions other than actuator elements, of an actuator substrate arranged with said actuator elements corresponding to a large number of pixels;
a pixel-forming step of forming pixel structures on said respective actuator elements on said actuator substrate; and
a pressurizing step of laminating and pressurizing an optical waveguide plate in a state in which at least said pixel structures are not hardened, and then hardening at least said pixel structures.

15. A method for producing a display device, comprising:

a crosspiece-forming step of forming a plurality of crosspieces at portions other than portions corresponding to a large number of actuator elements, of an optical waveguide plate;

a pixel-forming step of forming pixel structures at portions corresponding to said large number of pixels, of said optical waveguide plate; and
a pressurizing step of laminating an actuator substrate arranged with actuator elements of a number corresponding to said large number of pixels, on said crosspieces and said pixel structures, and pressurizing said optical waveguide plate and said actuator substrate in directions to make approach to one another.

16. A method for producing a display device, comprising:

a crosspiece-forming step of forming a plurality of crosspieces at portions other than actuator elements, of an actuator substrate arranged with said actuator elements corresponding to a large number of pixels;
a pixel-forming step of forming pixel structures at portions corresponding to said large number of pixels, of an optical waveguide plate; and
a pressurizing step of laminating a surface of said actuator substrate formed with said crosspieces and a surface of said optical waveguide plate formed with said pixel structures with each other, and pressuring said optical waveguide plate and said actuator substrate in directions to make approach to one another.

17. A method for producing a display device, comprising:

a crosspiece-forming step of forming a plurality of crosspieces at portions other than portions corresponding to a large number of actuator elements, of an optical waveguide plate;
a pixel-forming step of forming pixel structures on respective actuator elements of an actuator substrate arranged with said actuator elements of a number corresponding to said large number of pixels; and
a pressurizing step of laminating a surface of said actuator substrate formed with said pixel structures and a surface of said optical waveguide plate formed with said crosspieces with each other, and pressuring said optical waveguide plate and said actuator substrate in directions to make approach to one another.

18. A method for producing a display device, comprising:

a pixel-forming step of forming pixel structures on respective actuator elements of an actuator substrate arranged with said actuator elements of a number corresponding to a large number of pixels and integrally having a plurality of crosspieces at portions other than said actuator elements; and
a pressurizing step of laminating and pressurizing an optical waveguide plate in a state in which at least said pixel structures are not hardened, and then hardening at least said pixel structures.

19. A method for producing a display device, comprising:

a crosspiece-forming step of forming a plurality of crosspieces at portions other than actuator elements, of an actuator substrate arranged with said actuator elements of a number corresponding to a large number of pixels;
a pixel-forming step of forming pixel structures on said respective actuator elements of said actuator substrate;
a first laminating step of laminating a plate member in a state in which at least said pixel structures are not hardened;
a pressurizing step of pressurizing said actuator substrate and said plate member in directions to make approach to one another, and then hardening at least said pixel structures; and
a second laminating step of removing said plate member, and then laminating an optical waveguide plate at least on said crosspieces.

20. A method for producing a display device, comprising:

a crosspiece-forming step of forming a plurality of crosspieces at portions other than portions corresponding to a large number of pixels, of a plate member;
a pixel-forming step of forming pixel structures at said portions corresponding to said large number of pixels, of said plate member;
a first laminating step of laminating an actuator substrate arranged with actuator elements of a number corresponding to said large number of pixels on said crosspieces and said pixel structures;
a pressurizing step of pressurizing said plate member and said actuator substrate in directions to make approach to one another; and
a second laminating step of removing said plate member to transfer said crosspieces and said pixel structures to said actuator substrate, and then laminating an optical waveguide plate on at least said crosspieces.

21. A method for producing a display device, comprising:

a crosspiece-forming step of forming a plurality of crosspieces at portions other than actuator elements, of an actuator substrate arranged with said actuator elements of a number corresponding to a large number of pixels;
a pixel-forming step of forming pixel structures at portions corresponding to said large number of pixels, of a plate member;
a first laminating step of laminating a surface of said actuator substrate formed with said crosspieces and a surface of said plate member formed with said pixel structures with each other;
a pressurizing step of pressurizing said plate member and said actuator substrate in directions to make approach to one another; and
a second laminating step of removing said plate member to transfer said pixel structures to said actuator substrate, and then laminating an optical waveguide plate on at least said crosspieces.

22. A method for producing a display device, comprising:

a pixel-forming step of forming pixel structures on respective actuator elements of an actuator substrate arranged with said actuator elements of a number corresponding to a large number of pixels;
a crosspiece-forming step of forming a plurality of crosspieces at portions other than portions corresponding to said large number of pixels, of a plate member;
a first laminating step of laminating a surface of said actuator substrate formed with said pixel structures and a surface of said plate member formed with said crosspieces with each other;
a pressurizing step of pressurizing said plate member and said actuator substrate in directions to make approach to one another; and
a second laminating step of removing said plate member to transfer said crosspieces to said actuator substrate, and then laminating an optical waveguide plate on at least said crosspieces.

23. A method for producing a display device, comprising:

a pixel-forming step of forming pixel structures on respective actuator elements of an actuator substrate arranged with said actuator elements of a number corresponding to a large number of pixels and integrally having a plurality of crosspieces at portions other than said actuator elements;
a first laminating step of laminating a plate member in a state in which at least said pixel structures are not hardened;
a pressurizing step of pressurizing said actuator substrate and said plate member in directions to make approach to one another, and then hardening at least said pixel structures; and
a second laminating step of removing said plate member, and then laminating an optical waveguide plate on at least said crosspieces.

24. A method for producing a display device, comprising:

a pixel-forming step of forming pixel structures on respective actuator elements of an actuator substrate arranged with said actuator elements of a number corresponding to a large number of pixels;
a first laminating step of using a jig including, on one surface of a plate member, a large number of size-defining members formed to have substantially the same height as that of crosspieces to be formed on said actuator substrate to laminate a surface of said jig formed with said size-defining members and a surface of said actuator substrate formed with said pixel structures with each other;
a pressurizing step of pressurizing said jig and said actuator substrate in directions to make approach to one another;
a crosspiece-forming step of removing said jig, and then forming said plurality of crosspieces at portions other than said actuator sections, of said actuator substrate; and
a second laminating step of laminating an optical waveguide plate on at least said crosspieces on said actuator substrate.

25. A method for producing a display device, comprising:

a pixel-forming step of forming pixel structures on respective actuator elements of an actuator substrate arranged with said actuator elements of a number corresponding to a large number of pixels;
a first laminating step of using a jig including, on one surface of a plate member, a large number of size-defining members formed to have substantially the same height as that of crosspieces to be formed on said actuator substrate to laminate a surface of said jig formed with said size-defining members and a surface of said actuator substrate formed with said pixel structures with each other;
a pressurizing step of pressurizing said jig and said actuator substrate in directions to make approach to one another;
a crosspiece-forming step of removing said jig, and then forming said plurality of crosspieces at portions

other than portions corresponding to said large number of pixels, of an optical waveguide plate; and a second laminating step of laminating a surface of said actuator substrate formed with said pixel structures and a surface of said optical waveguide plate formed with said crosspieces with each other.

26. A method for producing a display device, comprising:

a pixel-forming step of forming pixel structures on respective actuator elements of an actuator substrate arranged with said actuator elements of a number corresponding to a large number of pixels;
a crosspiece-forming step of using a jig including, on one surface of a plate member, a large number of size-defining members formed to have substantially the same height as that of crosspieces to be formed on said actuator substrate to form said plurality of crosspieces at portions formed with no size-defining member, of a surface of said jig formed with said size-defining members, said portions being other than portions corresponding to said large number of pixels;
a first laminating step of laminating said surface of said jig formed with said size-defining members and said crosspieces and a surface of said actuator substrate formed with said pixel structures with each other;
a pressurizing step of pressurizing said jig and said actuator substrate in directions to make approach to one another; and
a second laminating step of removing said jig to transfer said crosspieces to said actuator substrate, and then laminating an optical waveguide plate on at least said crosspieces on said actuator substrate.

27. A method for producing a display device, comprising:

a crosspiece-forming step of forming a plurality of crosspieces at portions other than actuator elements, of an actuator substrate arranged with said actuator elements of a number corresponding to a large number of pixels;
a pixel-forming step of forming pixel structures on said respective actuator elements of said actuator substrate;
a first laminating step of using a jig including, on one surface of a plate member, a large number of size-defining members formed to have substantially the same height as that of said crosspieces to be formed on said actuator substrate to laminate a surface of said jig formed with said size-defining members and a surface of said actuator substrate formed with said crosspieces and said pixel structures with each other;
a pressurizing step of pressurizing said jig and said actuator substrate in directions to make approach to one another; and
a second laminating step of removing said jig, and then laminating an optical waveguide plate on at least said crosspieces on said actuator substrate.

28. A method for producing a display device, comprising:

a crosspiece-forming step of forming a plurality of crosspieces at portions other than actuator elements, of an actuator substrate arranged with said actuator elements of a number corresponding to a large number of pixels;
a pixel-forming step of using a jig including, on one surface of a plate member, a large number of size-defining members formed to have substantially the same height as that of said crosspieces to be formed on said actuator substrate to form pixel structures at portions corresponding to said large number of pixels, said portions being formed with no size-defining member, of a surface of said jig formed with said size-defining members;
a first laminating step of laminating said surface of said jig formed with said size-defining members and said pixel structures and a surface of said actuator substrate formed with said crosspieces with each other;
a pressurizing step of pressurizing said jig and said actuator substrate in directions to make approach to one another; and
a second laminating step of removing said jig to transfer said pixel structures to said actuator substrate, and then laminating an optical waveguide plate on at least said crosspieces on said actuator substrate.

29. A method for producing a display device, comprising:

a crosspiece-forming step of using a jig including, on one surface of a plate member, a large number of size-defining members formed to have substantially the same height as that of crosspieces to be formed on an actuator substrate to form said plurality of crosspieces at portions formed with no size-defining member, of a surface of said jig formed with said size-defining members, said portions being other than portions corresponding to a large number of pixels;
a pixel-forming step of forming pixel structures at portions corresponding to said large number of pixels, said portions being formed with no size-defining member, of said surface of said jig formed with said size-defining members;

a first laminating step of laminating said actuator substrate arranged with actuator elements of a number corresponding to said large number of pixels on said crosspieces and said pixel structures on said jig; a pressurizing step of pressurizing said jig and said actuator substrate in directions to make approach to one another; and
a second laminating step of removing said jig to transfer said crosspieces and said pixel structures to said actuator substrate, and then laminating an optical waveguide plate on at least said crosspieces.

30. The method for producing said display device according to claim 20, 22, 25, 26, or 29, wherein when said crosspieces are formed, said members for constructing said crosspieces are laminated by utilizing surface tension of liquid.

31. The method for producing said display device according to claim 20, 22, 25, 26, or 29, wherein said crosspiece-forming step comprises forming said crosspieces at said concerning portions of said plate member, and then hardening said crosspieces.

32. The method for producing said display device according to any one of claims 14 to 31, wherein said pressurizing step comprises hardening at least said pixel structures while pressurizing said actuator substrate and said member to be pressurized together with said actuator substrate.

33. The method for producing said display device according to any one of claims 14 to 32, wherein said optical waveguide plate includes a gap-forming layer at a portion corresponding to said crosspiece.

34. The method for producing said display device according to any one of claims 14 to 32, wherein a gap-forming layer is previously formed on said crosspiece before laminating said optical waveguide plate.

35. The method for producing said display device according to any one of claims 14 to 34, wherein when said actuator substrate and said member to be pressurized together with said actuator substrate are pressurized, a preliminary treatment is performed for gap formation, and a predetermined gap is formed between said pixel structure and said optical waveguide plate during said hardening of at least said pixel structures performed thereafter.

36. The method for producing said display device according to any one of claims 14 to 35, wherein a vacuum packaging method is used to pressurize said actuator substrate and said member to be pressurized together with said actuator substrate.

37. The method for producing said display device according to any one of claims 14 to 35, wherein a low pressure press method is used to pressurize said actuator substrate and said member to be pressurized together with said actuator substrate.

38. The method for producing said display device according to any one of claims 19 to 37, wherein:

said member, which is used to be laminated on said actuator substrate in said first laminating step, has a projection at a portion corresponding to each of said pixel structures; and
a recess corresponding to said projection is formed on said surface of said pixel structure upon said pressurization performed in said pressurizing step after said first laminating step.

39. The method for producing said display device according to any one of claims 19 to 38, wherein:

said member, which is used to be laminated on said actuator substrate in said first laminating step, has a projection at a portion corresponding to each of said pixel structures; and
a step corresponding to said projection is formed on said surface of said pixel structure upon said pressurization performed in said pressurizing step after said first laminating step.

40. The method for producing said display device according to any one of claims 19 to 39, wherein:

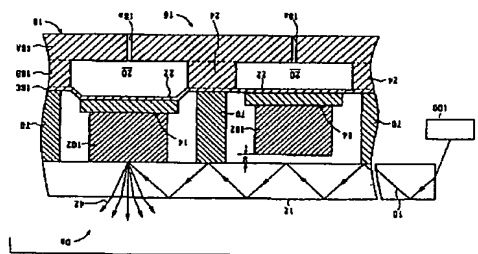
said member, which is used to be laminated on said actuator substrate in said first laminating step, has a convex configuration formed at a portion corresponding to each of said pixel structures; and
a concave configuration corresponding to said convex configuration is formed on said surface of said pixel structure upon said pressurization performed in said pressurizing step after said first laminating step.

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

WFO 992,626.9
PCT/JP98/00443

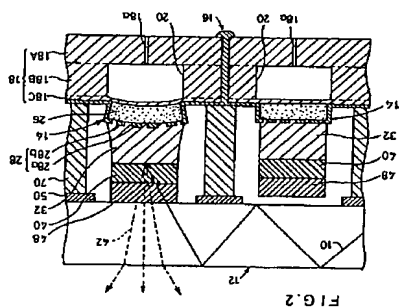
PCT/JP98/023619

09/1



4405 878477234 4523 0766 048

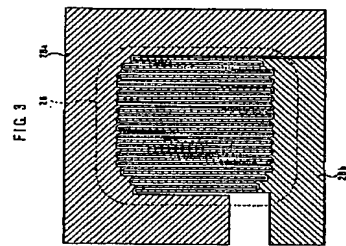
6408 WILSON, 2014



6257704 0000

10/21/2010

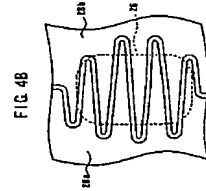
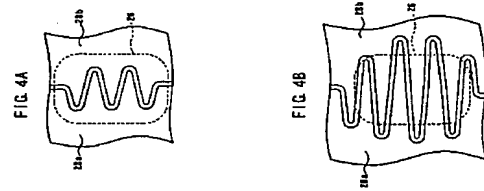
09/50



44-38861-1000

6035766

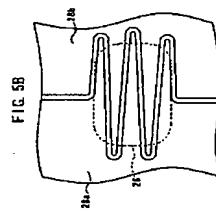
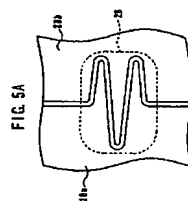
09/7



6872-2000-0000

Call for Papers

09/50



090 967 8878

RESEARCH DESIGN AND METHODS

